



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

URČENÍ PROSTOROVÝCH VZTAHŮ JEŘÁBOVÉ DRÁHY

DEFORMATION SURVEYING OF CRANE TRACK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

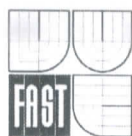
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN PŘÍHODA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ALEXEJ VITULA

BRNO 2013



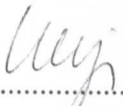
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3646T003 Geodézie a kartografie
Pracoviště Ústav geodézie

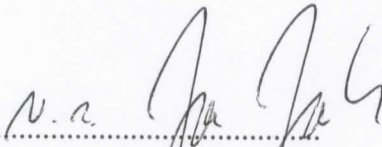
ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Příhoda Martin
Název Určení prostorových vztahů jeřábové dráhy
Vedoucí diplomové práce Ing. Alexej Vitula
Datum zadání diplomové práce 30. 11. 2012
Datum odevzdání diplomové práce 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012


.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Hampachr M. a kol.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. CTN 2011

Bohm, J. a kol.: Teorie chyb a vyrovnávací počet, GKP 1990

Michalčák, O. a kol.: Inžinierská geodézia I. ALFA 1985

Michalčák, O. a kol.: Inžinierská geodézia II. ALFA 1990

MN pro určování prostorových vztahů jeřábových drah.

ČSN 73 5130. Jeřábové dráhy.

ČSN 73 2611. Úchylky rozměrů a tvarů ocelových konstrukcí.

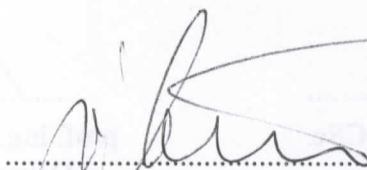
Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Studiem odborné literatury zjistíte používané metody určení prostorových vztahů jeřábových drah. Na základě rozborů přesnosti porovnejte vhodnost různých metod zaměření skutečného stavu s ohledem na podmínky z hlediska přesnosti, náročnosti a bezpečnosti práce. Teoretické poznatky ověřte praktickým měřením vybraných jeřábových drah. Jako závazné podklady použijte dochovanou dokumentaci skutečného provedení stavby a dokumentaci předchozích geodetických měření drah. Navrhněte technologický postup měření vhodný pro daný objekt v souladu s požadavky stávajících předpisů a norem.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Alexej Vítula
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá navržením vhodných postupů ke zjištění geometrických vztahů konkrétních jeřábových drah, které jsou ověřeny rozbořem přesnosti. Dále popisuje vyzkoušení navržených postupů praktickými měřeními, jejichž výsledky jsou analyzovány a nakonec porovnány s platnými normativními dokumenty.

Abstract

The thesis deals with design of suitable methods to determine space relations of the particular crane tracks. These methods are investigated within the accuracy analysis. Test measurements using the designed methods are described and their results are analysed and compared with the applicable standards.

Klíčová slova

Jeřábová dráha, prostorové vztahy, mezní úchylka, mezní vytyčovací odchylka, norma, rektifikační hodnota.

Keywords

Crane track, space relations, permitted deviation, permitted setting-out deviation, standard, rectification value.

Bibliografická citace VŠKP

PŘÍHODA, Martin. *Určení prostorových vztahů jeřábové dráhy*. Brno, 2013. 119 s., 24 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Alexej Vitula.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. května 2013

.....
podpis autora

Poděkování

Za účinnou podporu a obětavou pomoc, cenné připomínky a rady při zpracování tímto děkuji vedoucímu práce Ing. Alexeji Vitulovi. Ing. Jiřímu Burešovi, Ph.D. děkuji za cenné rady zejména při kalibračním měření. Díky patří také mým blízkým za zázemí a podporu při studiu.

OBSAH

1. ÚVOD	14
2. HISTORIE A ROZDĚLENÍ JEŘÁBŮ	15
2.1. ROZDĚLENÍ ZDVIHACÍCH ZAŘÍZENÍ	15
2.2. HISTORIE VÝVOJE JEŘÁBŮ	15
2.3. ROZDĚLENÍ JEŘÁBŮ	17
2.3.1. <i>Podle konstrukce</i>	17
2.3.1.1. Jeřáb mostového typu	17
2.3.1.2. Lanový jeřáb	18
2.3.1.3. Jeřáb výložníkového typu	18
2.3.2. <i>Podle pohonu</i>	20
2.3.3. <i>Ostatní rozdělení</i>	21
3. MĚŘENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ JEŘÁBOVÝCH DRAH	23
3.1. ZÁKLADNÍ POJMY	23
3.2. GEOMETRICKÉ VZTAHY	23
3.3. VLIVY PŮSOBÍCÍ NA JEŘÁBOVOU DRÁHU	24
3.4. METODY POUŽITELNÉ PRO URČOVÁNÍ PROSTOROVÝCH VZTAHŮ JEŘÁBOVÝCH DRAH	25
3.4.1. <i>Metoda záměrné přímky</i>	25
3.4.1.1. Nejčastěji používaná varianta na našem území	25
3.4.2. <i>Modernizace metodiky před příchodem totálních stanic</i>	27
3.4.3. <i>Prostorová polární metoda</i>	29
3.4.3.1. Měření ze země	29
3.4.3.2. Měření v úrovni dráhy	31
3.4.3.3. Zpracování naměřených údajů	31
3.4.4. <i>Terestrické laserové skenování</i>	32
3.4.4.1. Zkouška metody na VD Gabčíkovo	32
3.4.5. <i>Automatizované měřicí systémy</i>	33
3.4.5.1. Kalibrace a měření	34
3.4.5.2. Zpracování výsledků	35
3.4.5.3. Zhodnocení metody	35
3.4.5.4. Integrace inerciálních měřicích systémů	36
3.5. URČOVÁNÍ REKTIKACNÍCH HODNOT SMĚROVÉHO PRŮBĚHU JEŘÁBOVÝCH DRAH	36
3.5.1. <i>Model vyrovnání Novák – Šrom</i>	38
3.5.2. <i>Model vyrovnání Lukáč – Kopáček</i>	40
4. SOUVISEJÍCÍ TECHNICKÉ PŘEDPISY	42

4.1. ZAŘAZOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ	42
4.2. KONTROLNÍ PROHLÍDKY	43
4.3. TOLERANCE	44
4.4. METODY A PŘESNOST	47
4.5. MĚŘENÍ ÚCHYLEK	47
4.6. REKTIFIKACE	48
5. POPIS MĚŘENÝCH JEŘÁBOVÝCH DRAH A VOLBA MĚŘICKÝCH METOD	49
5.1. POUŽITÉ VYBAVENÍ	49
5.1.1. <i>Prostorová polární metoda</i>	49
5.1.2. <i>Metoda záměrné přímky</i>	50
5.1.3. <i>Nivelace</i>	51
5.1.4. <i>Ostatní pomůcky</i>	51
5.2. ROZBOR PŘESNOSTI	52
5.2.1. <i>Přesnost měření rozchodu</i>	53
5.2.2. <i>Polohová přesnost určovaných bodů</i>	54
5.2.2.1. Prostorová polární metoda	55
5.2.2.2. Metoda záměrné přímky	55
5.2.3. <i>Výšková přesnost určovaných bodů</i>	56
5.2.3.1. Trigonometrická metoda	56
5.2.3.2. Nivelace	57
5.2.4. <i>Přesnost určení polohy čel narážek.</i>	58
5.2.5. <i>Shrnutí rozboru přesnosti</i>	58
6. KALIBRACE PŘÍSTROJŮ	59
6.1. FYZIKÁLNÍ REDUKCE	59
6.2. URČENÍ SOUČTOVÉ KONSTANTY DÁLKOMĚRU	60
6.2.1. <i>Princip určení a výpočet PSM</i>	61
6.2.2. <i>Určení charakteristik přesnosti zjištěných PSM</i>	61
6.3. URČENÍ ROZDÍLŮ MĚŘENÝCH DÉLEK MEZI HRANOLEM A ODRAZNÝM TERČEM	63
6.4. URČENÍ CYKLICKÉ CHYBY DÁLKOMĚRU	64
6.5. ZKOUŠKA NIVELAČNÍHO PŘÍSTROJE A URČENÍ OPRAVY Z NEVODOROVNOSTI ZÁMĚRNÉ PŘÍMKY	68
7. PRAKTICKÉ MĚŘENÍ – ŠKVÁROVNA, SPALOVNA BRNO	71
7.1. POPIS JEŘÁBOVÉ DRÁHY	71
7.2. VOLBA METOD	72
7.3. POSTUP MĚŘENÍ	72
7.4. PŘÍPRAVA DAT PRO VÝPOČET	73

7.5. VÝPOČET SOUŘADNIC Z NAMĚŘENÝCH DAT	74
7.6. POSOUZENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ DRÁHY	75
7.6.1. <i>Porovnání rozdílů naměřených hodnot s mezními rozdíly</i>	76
7.6.1.1. Porovnání rozdílů naměřených rozchodů s mezními rozdíly	77
7.6.1.2. Porovnání rozdílů naměřených příčných úchylek s mezními rozdíly	77
7.6.1.3. Porovnání rozdílů naměřených výšek s mezními rozdíly	78
7.6.2. <i>Porovnání zjištěných geometrických parametrů s platnými normami</i>	78
7.6.2.1. Směrový průběh a rozchody – Varianta A	78
7.6.2.2. Směrový průběh a rozchody – Varianta B	81
7.6.2.3. Výškový průběh	84
7.6.2.4. Kolmost čel narážek	86
7.7. VYHODNOCENÍ POSOUZENÝCH GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ	87
8. PRAKTICKÉ MĚŘENÍ – MOSTÁRNA	88
8.1. POPIS JEŘÁBOVÉ DRÁHY	88
8.2. VOLBA METOD	89
8.3. POSTUP MĚŘENÍ	89
8.4. PŘÍPRAVA DAT PRO VÝPOČET	90
8.5. VÝPOČET SOUŘADNIC Z NAMĚŘENÝCH DAT	91
8.5.1. <i>Polární metoda</i>	91
8.5.2. <i>Metoda záměrné přímky</i>	92
8.5.3. <i>Nivelace</i>	92
8.6. POSOUZENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ DRÁHY	92
8.6.1. <i>Porovnání rozdílů naměřených hodnot s mezními rozdíly</i>	93
8.6.1.1. Porovnání rozdílů naměřených rozchodů s mezními rozdíly	94
8.6.1.2. Porovnání rozdílů naměřených příčných úchylek s mezními rozdíly	94
8.6.1.3. Porovnání rozdílů naměřených výšek s mezními rozdíly	95
8.6.2. <i>Porovnání zjištěných geometrických parametrů s platnými normami</i>	96
8.6.2.1. Směrový průběh a rozchody – Varianta A (polární metoda)	96
8.6.2.2. Směrový průběh a rozchody – Varianta B (rozchody – polární metoda, příčné úchytky – metoda záměrné přímky)	99
8.6.2.3. Výškový průběh	102
8.6.2.4. Kolmost čel narážek	104
8.7. VYHODNOCENÍ POSOUZENÝCH GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ	105
9. ZÁVĚR	107
10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	109
11. SEZNAM OBRÁZKŮ	114
12. SEZNAM TABULEK A GRAFŮ	116

A. PŘÍLOHY K VÝPOČTU CYKlickÉ CHYBY	I
B. PŘÍLOHY K VÝPOČTU JEŘÁBOVÉ DRÁHY VE SPALOVNĚ	III
B.1. PARAMETRY ELIPS CHYB	III
B.2. PŘEHLED MĚŘENÝCH VELIČIN A JEJICH STŘEDNÍCH CHYB, POROVNÁNÍ ROZDÍLŮ VÍCEKRÁT MĚŘENÝCH VELIČIN S MEZNÍMI HODNOTAMI	VII
B.3. ÚCHYLKY ROZHODŮ A VÝŠKOVÝCH ÚROVNÍ OD VZTAŽNÝCH HODNOT	XI
C. PŘÍLOHY K VÝPOČTU JEŘÁBOVÉ DRÁHY V MOSTÁRNĚ	XIII
C.1. PARAMETRY ELIPS CHYB	XIII
C.2. PŘEHLED MĚŘENÝCH VELIČIN A JEJICH STŘEDNÍCH CHYB, POROVNÁNÍ ROZDÍLŮ VÍCEKRÁT MĚŘENÝCH VELIČIN S MEZNÍMI HODNOTAMI	XV
C.3. ÚCHYLKY ROZHODŮ A VÝŠKOVÝCH ÚROVNÍ OD VZTAŽNÝCH HODNOT	XXI
D. ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY	XXIII
D.1. SPALOVNA	XXIII
D.1.1. Zápisník z měření	XXIII
D.1.2. Náskres situace	XXIII
D.1.3. Protokoly z výpočtu polární metody	XXIII
D.1.4. Protokoly z transformací	XXIII
D.1.5. Měřický elaborát	XXIII
D.1.5.1. Technická zpráva	XXIII
D.1.5.2. Grafické znázornění	XXIII
D.2. MOSTÁRNA	XXIII
D.2.1. Zápisník z měření totální stanicí	XXIII
D.2.2. Ruční zápisníky z měření	XXIII
D.2.2.1. Dispozice haly	XXIII
D.2.2.2. Náskres situace	XXIII
D.2.2.3. Zápisník z měření technickou nivelací	XXIII
D.2.2.4. Zápisník z měření metodou záměrné přímky	XXIII
D.2.3. Protokol z výpočtu polární metody	XXIII
D.2.4. Měřický elaborát	XXIII
D.2.4.1. Technická zpráva	XXIII
D.2.4.2. Grafické znázornění	XXIII
E. VOLNĚ LOŽENÉ PŘÍLOHY	XXIV
E.1. TECHNICKÁ ZPRÁVA Z MĚŘENÍ VE SPALOVNĚ	XXIV
E.2. GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ JEŘÁBOVÉ DRÁHY VE SPALOVNĚ	XXIV
E.3. TECHNICKÁ ZPRÁVA Z MĚŘENÍ V MOSTÁRNĚ	XXIV

1. ÚVOD

Určování geometrických parametrů jeřábových drah patří od druhé poloviny 20. století k nejčastějším úlohám průmyslové geodézie. Na každé nově postavené jeřábové dráze je před uvedením do provozu nutno provést ověření souladu jejích geometrických parametrů s projektovou dokumentací. Po uvedení do provozu je dále nezbytné provádět kontrolní měření geometrických vztahů jeřábové dráhy v intervalech, které jsou předepsány normou, resp. předpisem pro kontrolu a údržbu.

Jakkoliv je proměřování jeřábových drah úkon velice důležitý a náročný na přesnost, její dodržení je mnohdy komplikováno nepříznivými světelnými a hlukovými podmínkami v prostředí továrních hal a zejména zvýšeným rizikem úrazu.

Cílem této diplomové práce je navrhnout technologický postup k určení prostorových vztahů námi měřených jeřábových drah tak, aby byl co nejvýhodnější z hlediska přesnosti, náročnosti a bezpečnosti práce.

Teoretická část práce se zabývá především shrnutím použitelných metod měření, respektive nástinem moderních trendů, které by mohly v dohledné době proces měření jeřábových drah významně zjednodušit. Dále je zde objasněna aktuální situace ohledně použitelných normativních dokumentů, kde v rámci harmonizace technických norem s Evropskou unií došlo v nedávné době k významným změnám.

Praktická část práce se zabývá rozbořem přesnosti a výběrem metod pro dané dráhy, eliminací systematických vlivů, které negativně ovlivňují měření a hlavně popisem metodiky měření na obou měřených jeřábových drahách. Výsledky měření jsou nejprve testovány v rámci mezních rozdílů vícekrát měřeného parametru a posléze jsou výsledky porovnány s dovolenými úchyly, které jsou předepsány v platných normách.

2. HISTORIE A ROZDĚLENÍ JEŘÁBŮ

2.1. Rozdělení zdvihacích zařízení

Zdvihací zařízení lze podle jejich vlastností obecně rozdělit do tří kategorií.

Zdvihadla (vrátek, naviják) jsou taková strojní zařízení, kterými se břemeno dopravuje svislým směrem do proměnlivých výšek či hloubek bez pohybu hlavní konstrukce zdvihacího zařízení.

Výtahy (páternoster, elevátor) jsou taková strojní zařízení, kterými se břemeno přemísťuje svislým směrem do stálých výšek, které zpravidla odpovídají jednotlivým podlažím. Výtah, který má několik plošin pro břemeno, zavěšených na nosných řetězech, s plynulým cirkulačním pohybem se nazývá páternoster.

Jeřáby jsou taková strojní zařízení, kterými se břemena nejen zdvihají a spouští do proměnlivých výšek či hloubek (které jsou však omezeny konstrukcí), ale zároveň se přemísťují z místa na místo ve vodorovném smyslu. Toto přemísťování se děje nakláněním, otáčením nebo posunováním částí jeřábu (kočka, výložník) anebo kombinací těchto pohybů a pojezdem celé hlavní nosné jeřábové konstrukce. [54]

2.2. Historie vývoje jeřábů

V počátcích vývoje lidské historie se břemena přemísťovala pouze lidskou silou. Později vznikala pomocná zařízení, jimiž si člověk zvedání těžších břemen umožňoval, eventuálně usnadňoval či urychloval. Tato zařízení byla poháněna buď lidskou silou, nebo tažnými zvířaty. Se zvyšujícími se nároky na nosnost zdvihacích zařízení ale tento druh pohonu postupně přestal dostávat, zejména kvůli nemožnosti zvedat těžká břemena v pravidelném provozu, tzn. bez zvláštních opatření pro jednotlivé případy.

První jeřáb byl zkonstruován ve starověkém Řecku pravděpodobně v 6. století př.n.l. Nový vynález se rychle šířil napříč celou zemí a nesmazatelně se zapsal do tehdejší architektury. Tam se totiž začaly využívat spíše menší kamenné kvádry, když se ukázalo, že více menších kusů je vzhledem k novému způsobu transportu výhodnější než jeden velký.

Pravý rozkvět starověkých jeřábů však přišel v období Římské říše. Staří Římané se svou zálibou ve stavbě opravdu obrovských budov převzali řecký princip a dále jej zdokonalili užitím hnacího kola, které bylo později též nahrazováno vrátkem, který měl tu výhodu, že mohl být poháněn i užitkovými zvířaty a k jeřábu se daly připojit ve větším množství.

Se zánikem Západní říše římské se hnací kolo ke zvedání břemen téměř přestalo používat. Avšak netrvalo dlouho a tato výhodná technologie se začala opět masově prosazovat. Široké využití měla zejména v přístavech, dolech a také na stavbách, kde se stala naprosto nezbytnou s nástupem impozantní architektury gotického slohu. Přístavní jeřáby byly obvykle vybaveny zdvojeným hnacím kolem, protože nakládání a vykládání lodí bylo třeba provádět co možná nejrychleji v porovnání např. se stavbami, kde postup zedníků byl relativně pomalý a na rychlosti zvedání materiálu příliš nezáleželo. Kromě těchto jeřábů, které byly postaveny pevně na zemi, byly již známy též plovoucí jeřáby, které bylo možno přesouvat libovolně po celém přístavu. Bez zajímavosti rovněž není ani skutečnost, že zatímco např. vlámské, holandské či německé přístavy této výhodné zdvihací technologie hojně využívaly, jinak vysoce moderní italské přístavy stále spoléhaly na primitivnější způsoby překládání zboží, které byly náročnější na pracovní sílu.

Jako první se mechanické energie pro zvedání břemen začalo využívat v hornictví, a to rumpály hnanými vodou. Jakkoliv byly překonávané výšky poměrně značné, břemena byla lehčí – vytěžený sytný materiál se mohl snadno dělit na přijatelně velká množství.

S vynálezem parního stroje Jamesem Wattem v roce 1765 (ve skutečnosti Watt parní stroj nevynalezl, nýbrž významně zdokonalil již existující vynálezy Thomase Saveryho a Thomase Newcomena) se otevřela široká škála možností průmyslové aplikace. To se pochopitelně týkalo i zdvihacích zařízení a konečně se dala významně zvýšit jak nosnost, tak i rychlost pohybu břemena. První zmínka o parním jeřábu pochází z roku 1820.

S počátkem využívání elektrického pohonu (první elektrický jeřáb pochází z roku 1887) doznala zdvihací zařízení dalšího prudkého vývoje. Zejména z hlediska provozní a ekonomické stránky se elektrická energie ukázala být daleko užitečnějším pohonem než parní stroj. Jakkoliv se parní pohon běžně využíval ještě

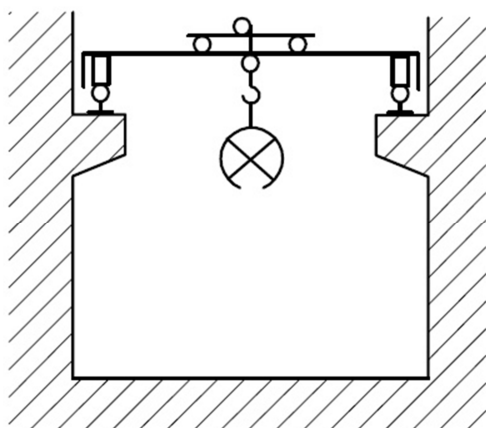
v 50. letech 20. století, byl postupně téměř zcela vytlačen právě pohonem elektrickým. [3],[46],[49]

2.3. Rozdělení jeřábů

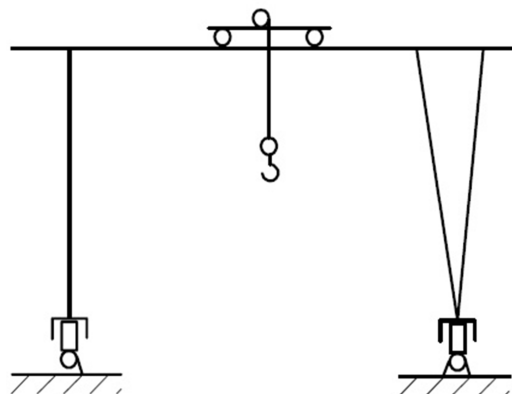
2.3.1. Podle konstrukce

2.3.1.1. Jeřáb mostového typu

Jeřáb mostového typu je jeřáb s prostředkem pro uchopení břemen zavěšeným na kočce, zdvihové jednotce či kladkostroji nebo na výložníkovém jeřábu a tento prostředek se může pohybovat podél mostu jeřábu.

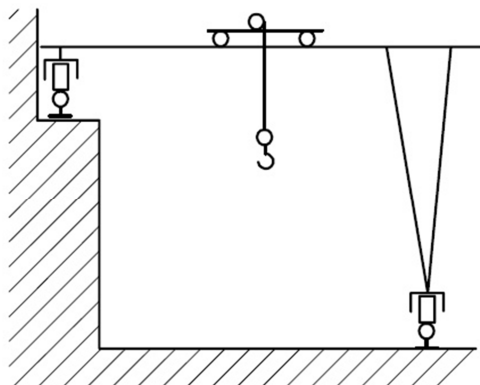


Obr. 2.1. Mostový jeřáb [16]



Obr. 2.2. Portálový jeřáb [16]

Tento druh jeřábu lze dále dělit na jeřáby mostové, portálové a poloportálové. Zatímco **mostový jeřáb** má mostové nosníky přímo podepřené pojezdovými jednotkami na kolejnicových drahách, nosníky **portálového jeřábu** jsou podepřeny nohami na kolejnicových drahách. **Poloportálový jeřáb** má nosníky podepřené na jedné straně přímo na dráze a na druhé nohami.

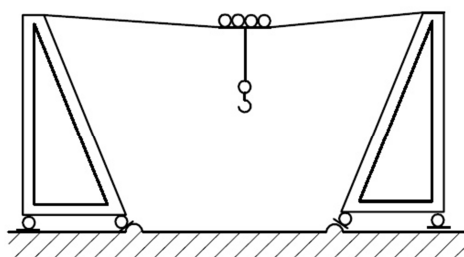


Obr. 2.3. Poloportálový jeřáb [16]

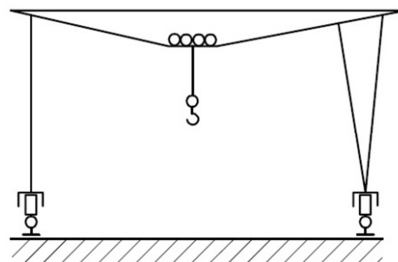
Jeřábová kočka je pojízdné zdvihadlo, u něhož se břemeno zvedá pod úrovní jeho jízdní dráhy. [49]

2.3.1.2. Lanový jeřáb

Lanovým jeřábem se rozumí jeřáb s prostředkem pro uchopení břemen zavěšeným na kočce, poježdějící po nosných lanech, upevněných na horní části stožárů. Lze dále rozlišovat **portálový lanový jeřáb**, jehož nosná lana jsou upevněna na koncích portálového mostu, namontovaného na dvou nohách.



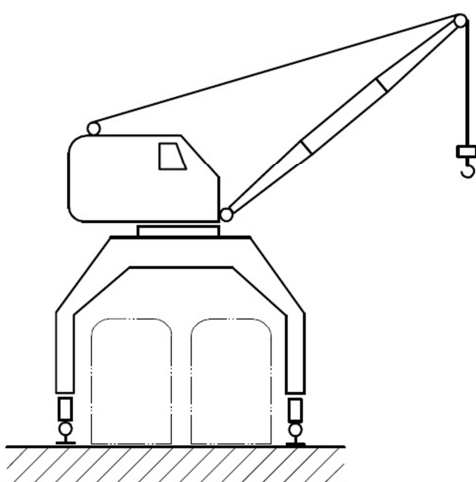
Obr. 2.4. Lanový jeřáb [16]



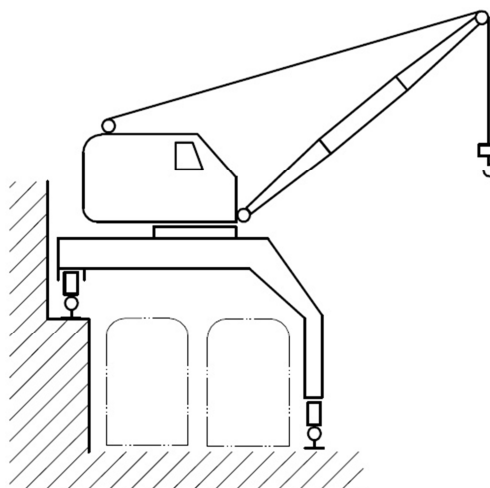
Obr. 2.5. Portálový lanový jeřáb [16]

2.3.1.3. Jeřáb výložníkového typu

Prostředek pro uchopení břemen je u jeřábu výložníkového typu zavěšen na výložníku nebo na kočce, poježdějící kolem výložníku. Výložníkem nazýváme část jeřábu, zajišťující potřebné vyložení a/nebo výšku zdvihu prostředku pro uchopení břemen.



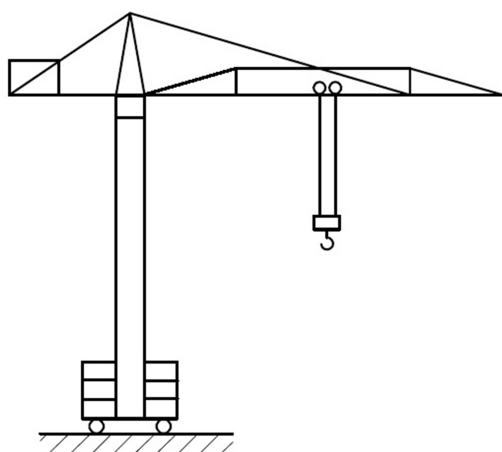
Obr. 2.6. Portálový otočný jeřáb [16]



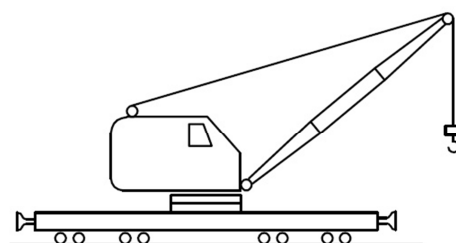
Obr. 2.7. Poloportálový otočný jeřáb [16]

Do této kategorie lze zařadit např. **portálový (poloportálový) otočný jeřáb**, čímž se rozumí pojízdný otočný jeřáb, namontovaný na portálu (poloportálu), který umožňuje průjezd silničních či kolejových vozidel.

Mobilní jeřáb je jeřáb výložníkového typu, který může mít upevněn stožár, schopný poježdění s břemenem nebo bez břemena, který nepotřebuje pevnou pojezdovou dráhu a jeho stabilita je zajištěna gravitací.



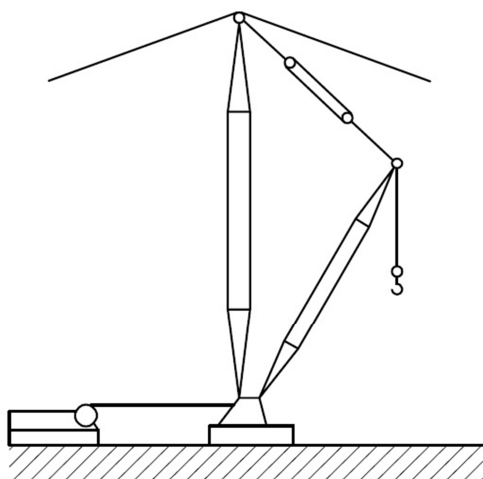
Obr. 2.8. Věžový jeřáb [16]



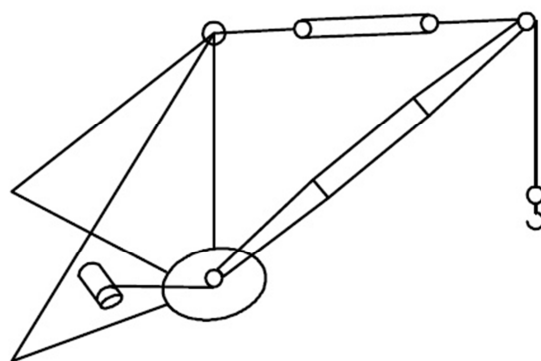
Obr. 2.9. Železniční jeřáb [16]

Věžovým jeřábem nazýváme otočný jeřáb s výložníkem umístěným v horní části svislé věže.

Železniční jeřáb je namontovaný na speciální plošině, poježdějící na železničních tratích.



Obr. 2.10. Ukotvený derikový jeřáb [16]

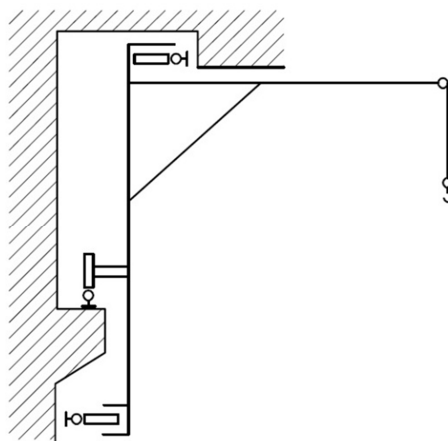
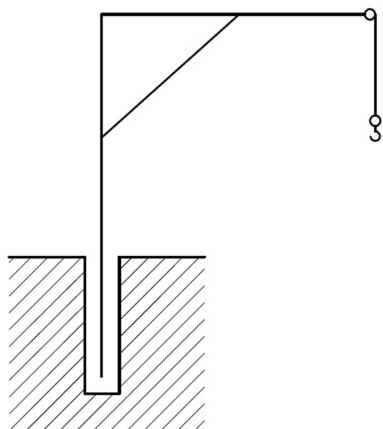


Obr. 2.11. Derikový jeřáb s tuhým vyztužením [16]

Derikový (stožárový) jeřáb se vyznačuje výložníkem kloubově uloženým ve spodní části a stojatým stožárem, který je podepřen nahoře a dole. Tento typ

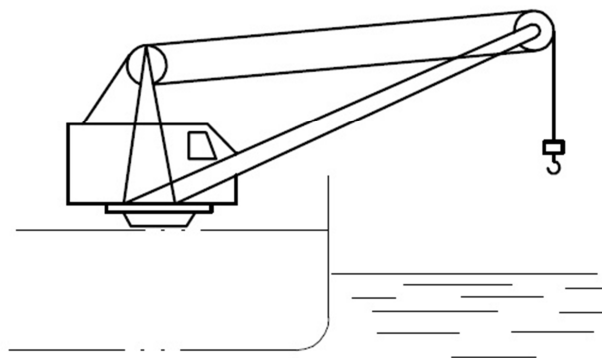
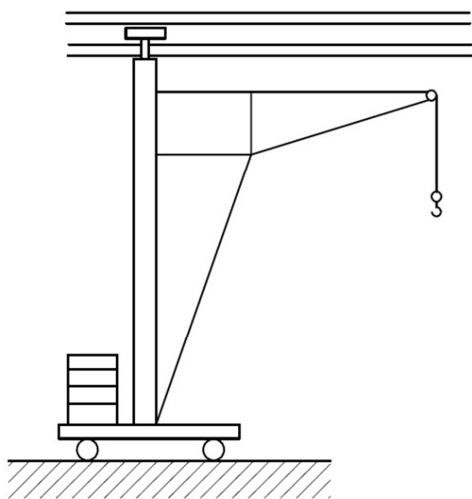
otočného jeřábu může mít stožár nahoře zachycen kotevními lany nebo tuhým vyztužením.

Konzolový jeřáb má prostředek pro uchopení břemen zavěšen na tuhé konzole (výložníku) nebo na kočce, pojíždějící kolem konzoly. Lze dále rozlišit konzolový jeřáb sloupový, nástěnný či bicyklový, pojíždějící po kolejnici a podepřený horním vedením.



Obr. 2.12. Sloupový konzol. jeřáb výložníkový [16] Obr. 2.13. Nástěnný konzolový jeřáb [16]

Do kategorie jeřábů výložníkového typu se dají také zařadit jeřáby **plovoucí** a **palubní**. [16]



Obr. 2.14. Bicyklový konzolový jeřáb [16]

Obr. 2.15. Palubní jeřáb [16]

2.3.2. Podle pohonu

Ruční pohon se používá v případech, kdy zařízení jsou zřídka používána, zdvihací rychlosti nevelké, eventuálně je nutná velmi přesná manipulace. Lze ho využít též jako záložní pohon.

Parní pohon se v dnešní době takřka nepoužívá. Ještě v 70. letech 20. století byl ale poměrně častý zejména u železničních a plovoucích jeřábů z důvodu jeho nezávislosti na přívodu elektrického proudu. Velkou výhodou je vysoká přetížitelnost stroje. Nevýhodami jsou pomalá příprava, nemožnost krátkodobého vypnutí či velké množství spalin.

Hydraulický pohon není pohonem v pravém slova smyslu – primární energii dodává obvykle elektromotor nebo spalovací motor, který dodává tlakovou kapalinu do hydromotoru. Ten pak pohání příslušná ústrojí jeřábu. Jedná se tedy spíše o hydraulický převod. Výhody hydrauliky jsou např. snadná ovladatelnost, plynulá regulace pracovních rychlostí či hydraulická aretace (netřeba brzdy nebo zdrže). Nevýhodami tohoto pohonu jsou nižší účinnost a vysoké výrobní náklady.

Pneumatický pohon lze použít tam, kde je zaveden stlačený vzduch o tlaku 0,6 – 0,8 MPa pro jiné účely. To může být např. v dílnách, dolech či při stavbě tunelů, kde se používají pneumatické sbíječky. Ve výbušném prostředí je bezpečnější než elektrický pohon a vyfukovaný vzduch navíc přispívá k větrání.

Pohon spalovacím motorem se využívá hlavně u vozidlových a plovoucích jeřábů kvůli jeho nezávislosti na elektrické síti. Jeho výhody jsou v malých rozměrech motoru, rychlé připravenosti k provozu a lepší celkové účinnosti než u parního stroje. Z nevýhod je třeba zmínit zejména malou přetížitelnost a tím pádem vzhledem k vysokým záběrovým momentům nutnost podstatně výkonnějšího motoru než je jinak třeba a také nemožnost reverzace chodu motorem. S výhodou se používá sdružených pohonů dieselelektrického a dieselhydraulického.

Elektrický pohon je ze všech pohonů nejrozšířenější. Téměř výhradně se využívá třífázový střídavý proud. Jeho nevýhodou je závislost na elektrické síti, ta je však vyvážena celou řadou výhod. Mezi ně patří např. možnost individuálního pohonu každého mechanismu, schopnost okamžitého provozu, možnost reverzace a snadná a čistá obsluha. [49],[50],[54]

2.3.3. Ostatní rozdělení

Jeřáby lze dělit podle celé řady dalších kritérií. **Podle druhu pohybu jeřábu** můžeme rozlišovat jeřáby stacionární, přemístitelné, pojízdné, šplhací, otočné, plovoucí a se sdruženými pohyby. **Podle druhu práce a místa použití** lze rozlišit

jeřáby hutní, skládkové, stavební, přístavní, rudištní atd. Dle **prostředku pro uchopení břemen** rozdělujeme jeřáby na s hákem, drapákové, magnetové, licí, traverzové atd. [16],[49]

3. MĚŘENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ JEŘÁBOVÝCH DRAH

3.1. Základní pojmy

Pojmy uvedené v této kapitole jsou vztaženy zejména k mostovým jeřábům a jsou převzaty z normy ČSN 73 5130 [9].

Jeřábová dráha – konstrukce určená pro pojezd jeřábu, tvořená nosníkovou konstrukcí s kolejnicemi nebo ocelovými nosníky podvěsných jeřábů nebo nosníkem pojízdného kladkostroje (zdvihadla), popř. samostatnou kolejí na podloží. Součástí jeřábové dráhy je i nutné příslušenství, zejména nárazníky, narážky, lávky, plošiny, schodiště, žebříky, zábradlí, popř. nosníky a konzoly trolejí. V dalším průběhu diplomové práce bude označována zkratkou JD.

Větev jeřábové dráhy – část konstrukce jeřábové dráhy, po níž pojíždí pojezdová kola jeřábu.

Pole větve jeřábové dráhy – část větve jeřábové dráhy mezi dvěma sousedními podporami, popř. s prodloužením nosníku za poslední podporu, tj. s převislým koncem.

Rozchod jeřábové dráhy – vodorovná vzdálenost mezi svislými osami (středů) jeřábových kolejnic obou větví jeřábové dráhy mostových, portálových a poloportálových jeřábů a vodorovná vzdálenost mezi svislými osami pojížděných nosníků vnějších větví jeřábové dráhy podvěsného jeřábu.

Výška jeřábové dráhy – svislá vzdálenost od úrovně země (podlahy) k úrovni hlavy kolejnice jeřábové dráhy. Je vztažena:

- a) u mostových, portálových a poloportálových jeřábů k úrovni hlavy kolejnice
- b) u podvěsných jeřábů a pojízdných zdvihadel k horní hraně pojížděné příruby nosníku, popř. závěsné kolejnice
- c) u pojízdných konzolových jeřábů k úrovni hlavy nosné kolejnice na svislém nosníku

3.2. Geometrické vztahy

Určováním geometrických vztahů jeřábové dráhy se rozumí určení směrového a výškového průběhu kolejnic jeřábové dráhy [1]. Jeho účelem je zjištění úchylek vzhledem k podmínkám, vymezujícím správnou funkci dráhy [29]:

- a) **směrové podmínky** (vztahy ve vodorovné rovině) – kolejnice jeřábové dráhy mají být ve stanovených tolerancích přímé, vzájemně rovnoběžné a ve vzdálenosti rovné rozchodu jeřábového mostu,
- b) **výškové podmínky** – kolejnice jeřábové dráhy mají být ve stanovených tolerancích vodorovné a vzájemně v téže výšce.

Předmětem určení geometrických vztahů JD se tedy rozumí [38]:

- a) **určení směrového průběhu kolejnic**, definovaného vodorovnými úchylkami podélné střednice kolejnic od vztažné přímky ve stanovených příčných rovinách,
- b) **určení výškového průběhu kolejnic**, definovaného výškovými úchylkami pojezdových ploch kolejnic od vztažné vodorovné roviny a výškovými rozdíly těchto ploch ve stanovených příčných rovinách,
- c) **určení rozchodu kolejnic**, definovaného vodorovnými vzdálenostmi podélných střednic kolejnic ve stanovených příčných rovinách,
- d) **určení odchylek čel narážek** na koncích kolejnic od roviny kolmé k ose JD,
- e) **určení bočního a výškového přesahu** kolejnic ve stycích. [38]

O konkrétních pravidlech a povolených úchylnkách pro měření geometrických vztahů JD bude pojednáno v kapitole 4.5.

Geometrické vztahy JD se určují za účelem [1]:

- a) kontroly dodržování předepsaných mezních úchylek před uvedením JD do provozu, po montáži nebo opravě,
- b) získání podkladů při zjišťování příčin poruch JD,
- c) získání podkladů pro rekonstrukci JD,
- d) získání podkladů pro rektifikaci JD.

3.3. Vlivy působící na jeřábovou dráhu

a) vlivy vznikající při výstavbě objektu nebo krátce po ní, ev. montáží zařízení:

- nepravidelné sedání základů objektu nebo patek sloupů s nosníky
- nepřesné osazení nosníků

b) vlivy působící při provozu jeřábu

- hlavní síly působící na konstrukci jeřábu
 - **stálá zatížení** – vlastní váha konstrukce, váha pojížděcího jeřábového zařízení atd.)

- **proměnlivá pohyblivá zatížení** – vznikají při provozu ze setrvačnosti hmot
- **tepelné vlivy** – vyvolávají napětí, které by mohlo způsobit poruchy
- vedlejší síly
 - **tlak větru**
 - **brzdné síly z pojíždění** – vznikají na obou pojízdných kolejnicích při brždění kol a působí ve směru jízdy podél kolejnic
 - **bočné vodorovné síly** – působí kolmo k jízdní dráze (zahrnují v sobě např. vliv opotřebení kolejnic, deformace mostů atp.). [33], [34], [38], [53]

3.4. Metody použitelné pro určování prostorových vztahů jeřábových drah

3.4.1. Metoda záměrné přímky

Metoda záměrné přímky (dále MZP) byla v minulosti jasně nepoužívanější metodou pro měření JD, v současné době je však velmi rozšířená také prostorová polární metoda.

Záměrná přímka v tomto případě realizuje vztahovou soustavu a může být realizována záměrnou přímkou teodolitu, nivelačního přístroje, popř. laserového přístroje a cílovou značkou. Vzhledem ke kolejnici se jedná o [40]:

- a) **spojnici koncových bodů** podélné střednice kolejnice nebo bodů v jejich blízkosti
- b) **rovnoběžku se spojnici koncových bodů** odsazenou o vhodnou vzdálenost
- c) **přímku v obecné poloze** ke spojnici koncových bodů

Před samotným měřením je potřeba realizovat přípravné práce. Ty sestávají z rozměření kolejnicového pásu a vyznačení bodů střednice kolejnice středními nůžkami a důlčíkem. Poloha počátečního a koncového bodu záměrné přímky na vedlejší kolejnici se určí vytyčením pravých úhlů z koncových bodů řídící záměrné přímky. Poloha protilehlých bodů na vedlejší kolejnici ve stanovených rovinách se určí nanesením stejných vzdáleností pásmem.

3.4.1.1. Nejčastěji používaná varianta na našem území

MZP má řadu variant, v bývalém Československu byla nejvyužívanější ta s postavením teodolitu přímo na kolejnici a záměrnou přímkou totožnou se spojnici

koncových bodů podélné střednice kolejnice. Uvedený způsob je popsán i ve valné většině dostupné tuzemské dobové literatury.

Směrový průběh kolejnic měříme nejprve na řídící kolejnici. Záměrnou přímkou na vedlejší kolejnici volíme buď rovnoběžnou, nebo různoběžnou se záměrnou přímkou na řídící kolejnici. V případě různoběžných záměrných přímek měřená data početně upravíme tak, abychom dostali odchylky na dvou rovnoběžných přímkách. Teodolit upevníme na upínací desku a zcentrujeme nad bodem střednice kolejnice. Záměrnou přímkou realizujeme zacílením na terč, dostředěný na opačném konci kolejnice. Čtení odchylek středů kolejnice od měřické přímky probíhá na milimetrovém měřítku, přiřkládaném kolmo ke kolejnici. Měří se dvakrát, obvykle v obou směrech postupu pomocníka. Rozdíl naměřených hodnot nesmí překročit 1 mm a výsledná hodnota se určí aritmetickým průměrem. Současně se určí **odchylky čel narážek** na koncích kolejnic od roviny kolmé k ose JD, eventuálně **boční přesah styků kolejnic** a jejich staničení.

Rozchod kolejnic JD se doporučuje měřit ve všech příčných rovinách vyznačených důlky. Měří se obvykle komparovaným ocelovým nebo invarovým pásmem napínaným siloměrem konstantní silou. Je potřeba zavést korekce z komparace, z rozdílu teplot při komparaci a měření, z průhybu (bylo-li pásmo komparováno podepřené v celé délce) a popřípadě z protažení změnou napínací síly. Autoři [34] z důvodu bezpečnosti doporučují měřit rozchod pokud možno paralakticky na obou koncích dráhy a kontrolně pásmem v jednom z uvedených míst.

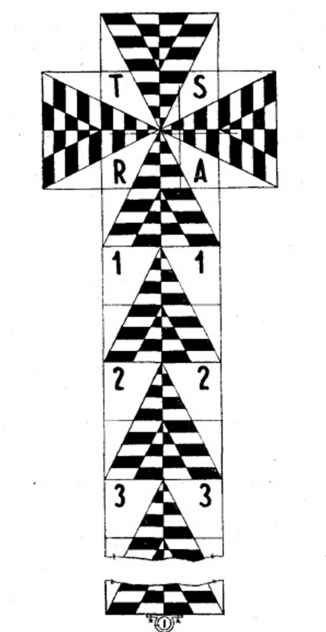
Výškový průběh kolejnic JD měříme nivelací v obou směrech. Používá se rektifikovaný nivelační přístroj střední přesnosti a nivelační měřítko vhodné délky. Úsek na nivelačním měřítku se čte s přesností na milimetry. Jako vztažná rovina pro výpočet výškových úchylek kolejnice se volí obvykle rovina nejvyššího bodu dráhy, popřípadě projektovaná úroveň pojezdových ploch kolejnic.

Směrový a výškový průběh kolejnic lze měřit i současně za pomoci teodolitu s kompenzátozem indexu svislého kruhu, nivelačního či laserového přístroje a křížové stupnice na odečítání vodorovných i výškových úchylek. [1],[34],[36],[40]

3.4.2. Modernizace metodiky před příchodem totálních stanic

Už od počátků proměřování geometrických parametrů JD byl patrný požadavek na co nejjednodušší technologii měření s co možná nejvyšší mírou automatizace. Ta by omezila dobu odstávky jeřábu a z ní pramenící ekonomické důsledky pro provozovatele, a hlavně zlepšila úkon měření z hlediska bezpečnosti práce.

Prvním pokusem o zjednodušení klasické technologie byl v roce 1967 kranimetr. Jednalo se o zařízení sestávající z lati opatřené libelou a průzorem a tvořené záměrným křížem o stejné délce ramen, opatřených základními rovnoramennými trojúhelníky o základně a výšce délky 10 cm. Ty jsou dále děleny na barevná pole o výšce 1 cm. Čtení milimetrů bylo umožněno na odvěsň sousedního trojúhelníka. Písmena v kvadrantech sloužila ke kontrole čtení. Výhoda kranimetru tkvěla v odečítání vodorovných a svislých odchylek najednou a tedy v možnosti použití pouze dostředěného nivelačního přístroje namísto dvou zařízení (niv. přístroj a teodolit). [32]



Obr. 3.1. Kranimetr [32]

Přibližně ve stejné době vznikly i první pokusy využití laseru, jak popisuje např. práce [47] ruských autorů. Ti navrhli a vyzkoušeli automatický způsob určení některých charakteristik JD pomocí plynového laseru a speciální fotoregistrační kamery. Paprsek laseru je snímán společně s indexem ve stanovených intervalech a

lze určit odchylky jak od geodeticky zaměřeného rozchodu kolejnic, tak i příčné a výškové úchyly kolejnic s dostatečnou přesností. Metoda měla řadu výhod, mezi jinými snížení obtížných geodetických měření na minimum, markantní zvýšení produktivity práce a při současném zaměření druhé koleje i nadbytečné výsledky pro vyrovnaní MNČ.

V osmdesátých letech řešil VÚGTK také variantu měření geometrických parametrů JD pomocí měřicích vozíků. Princip vozíku popsaneho v [38] spočívá v pojezdu po koleji a přesné centraci nulového indexu stupnice pro měření příčných úchylek podélné střednice kolejnice. Součástí zařízení je též stupnice pro měření výškových úchylek hlav kolejnice. Pohon vozíku je zajištěn elektromotorem a jeho činnost ovládána rádiovými signály. Záměrná přímka je realizována stejně jako při metodě záměrné přímky teodolitem nebo nivelačním přístrojem postaveným na kolejnici. Nevýhodou vozíku je, že neřeší měření rozchodu kolejnic v příčných rovinách.

Tento problém ovšem odstranila měřicí souprava Šnek [2]. Ta je složena ze dvou vozíků pojíždějících souběžně po obou kolejích JD. Změny rozchodu určeného na začátku měření komparovaným pásmem napínaným siloměrem a s přihlédnutím k případné korekci z teploty jsou měřeny ocelovým lankem napnutým mezi oběma vozíky. Šnek I (na koleji A) nese vahadlo se závažím a dále kladky, kterými je lanko vedeno. Lanko s ukazatelem probíhá před stupnicí směrového pravítka. Šnek II (na koleji B) je vybaven kotoučem pro navíjení lanka a brzdou. Změna rozchodu se tedy odečítá současně s příčnou úchylkou.

Koncem osmdesátých let bylo zkoušeno také laserové zařízení NIVEMAT 2003 K, vyvinuté v tehdejší NDR. To je tvořeno dálkově ovládaným vozíkem, jehož nejdůležitější částí je detekční zařízení na vyhodnocení polohy středu laserové stopy v horizontálním i vertikálním směru. Laserová vztažná přímka je realizována laserovým zaměřovačem. Testovací měření prokázala, že měření zařízením NIVEMAT je naprosto rovnocenné dříve využívaným metodám a splňuje požadavky normy ČSN 73 5130 v tehdejší znění. Navíc snižuje pohyb pracovníků po jeřábové dráze a tím zvyšuje bezpečnost práce [4].

3.4.3. Prostorová polární metoda

Nezadržitelný a překotný technologický vývoj měřicí a výpočetní techniky v posledních dvaceti letech způsobil, že využití totální stanice pro měření geometrických parametrů JD dávno není pouhý experiment a prostorová polární metoda (dále PPM) se plně vyrovná MZP přesností měření, rychlostí měření a bezpečností práce obsluhy svou předchůdkyni dokonce značně překonává. Zpracování naměřených dat je současně jednodušší a efektivnější.

Metoda předpokládá využití přesné totální stanice ($m_s \leq 3 \text{ mm}$; $m_\omega = m_z \leq 5''$) v kombinaci s průmyslovým hranolkem [26]. Před samotným měřením je potřeba vykonat nezbytná kalibrační měření, jako např. určení součtové konstanty použitého hranolu, určení rozdílových konstant měření na hranol a odrazné terče (pokud byly použity) nebo určení cyklické chyby dálkoměru.

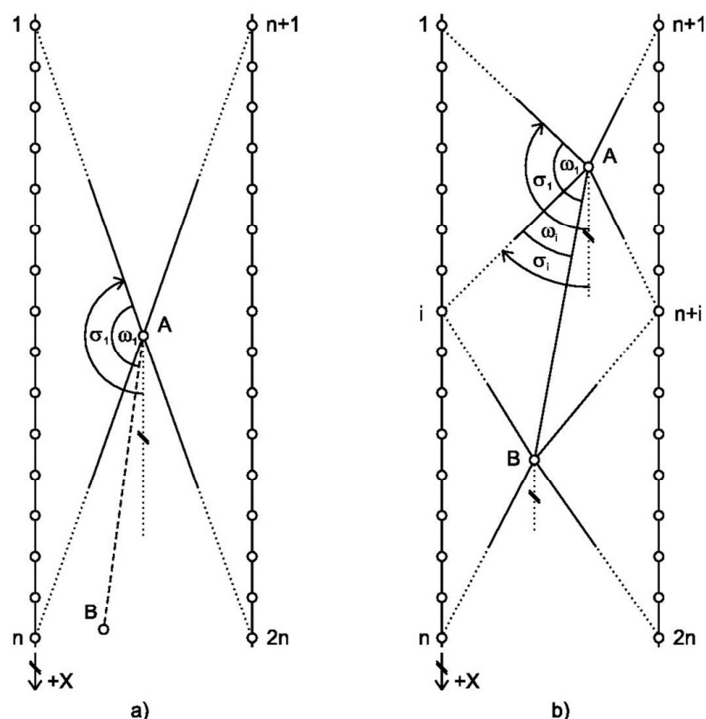
Mezi hlavní výhody využití PPM patří nezávislost přesnosti souřadnic určovaného bodu na vzdálenosti od přístroje, větší dosah, menší pohyb obsluhy ve výškách a menší počet měřických operací. K přednostem patří také možnost současného zaměření všech bodů, možnost registrace zápisníku a jeho jednodušší zpracování a v neposlední řadě také absence soupravy pro měření JD.

3.4.3.1. Měření ze země

Při měření geometrických vztahů JD ze země je přístroj postaven na stativu. Bylo prokázáno [27], že měření je vykonáno s vyhovující přesností při záměrech kratších než 90 m. JD kratší než 180 m lze tedy měřit z jednoho stanoviště, umístěného přibližně uprostřed délky JD přibližně na její podélné ose a uprostřed pole, aby záměry na nejbližší body (které se volí nad podporami) nebyly příliš strmé (obr. 3.2., schéma a). U delších drah se volí dvě stanoviště přibližně v $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ délky dráhy (obr. 3.2., schéma b). Mosty jeřábu se odstaví tak, aby byly viditelné pokud možno všechny body dráhy, při nejčastějším měření z jednoho stanoviště to znamená do pole nad postavením přístroje.

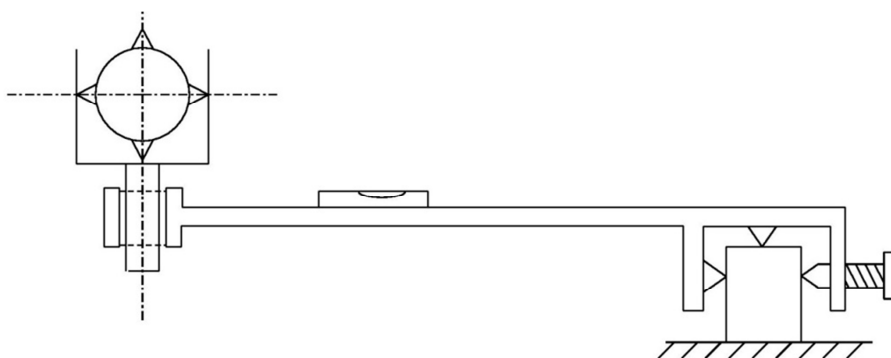
V případě měření z jednoho stanoviště je potřeba stabilizovat bod B co nejdále u jednoho z konců JD nebo zcela obecně v jejím okolí. Tento bod slouží k orientaci osnovy směrů. Při měření ze dvou stanovišť poslouží k orientaci druhé

stanovisko. Obě části dráhy se vzájemně propojí shodnostní transformací pomocí identických podrobných bodů, měřených z obou stanovisek.



Obr. 3.2. Rozmístění stanovisek při měření totální stanicí ze země [27]

Hranol je osazen na konci krátké kovové latě [26], urovnané pomocí krabicové libely (obr. 3.3.). Lať je opatřena úchytným zařízením, které se o pojezdovou a jednu ze svislých ploch kolejnice opírá dotykovými hroty a upevňuje se pomocí přitlačného šroubu. Vzdálenost svislé osy hranolu a bodu dotyku vodorovného opěrného hrotu se určí strojírenským posuvným měřítkem.



Obr. 3.3. Úchytná lať na hranol pro měření ze země [26]

Vodorovné úchytky se vztahují k jedné ze svislých ploch kolejnic, zvolené po dohodě s provozovatelem a podle opotřebení. Pro převedení na obvyklou střednici

se přičte polovina šířky hlavy koleje. Ta se měří posuvným měřítkem na několika místech dráhy a do výpočtu se zavádí průměr.

3.4.3.2. Měření v úrovni dráhy

Stanoviska přístroje mohou být také volena na stabilních střechách vestavěných objektů či rozměrném vybavení továrních hal tak, aby byla ve středu pole. Další možností je postavení přístroje přímo na kolejnici pomocí upínací desky. V obou případech není potřeba používat úchytné latě, nýbrž je možno stavět hranolek přímo na body střednice.

3.4.3.3. Zpracování naměřených údajů

Měřenými veličinami jsou šikmá délka s_i , vodorovný úhel ω_i a zenitový úhel z_i . Po zavedení potřebných korekcí (viz dále) se v libovolném výpočetním programu vypočtou prostorové pravoúhlé souřadnice X, Y, Z. Ty se transformují do soustavy, jejíž osa +X prochází vhodně zvolenými body koleje (např. druhý a předposlední, koncové body bývají často netypické). Počátek soustavy může být také vhodně odsazen. Výsledkem jsou průměrné hodnoty souřadnic a jejich střední chyby.

Ze získaných souřadnic se dále počítají příčné úchyly bodů q_i střednice od osy X (řídící kolejnice) nebo rovnoběžky s ní ve vzdálenosti rozchodu JD (vedlejší kolejnice). Za rozchod je možno považovat projektovanou hodnotu (je-li známa) nebo průměrnou hodnotu rozdílů souřadnic Y protilehlých bodů JD. Svislé úchyly se obvykle vztahují k rovině nejvyššího bodu JD.

Získané hodnoty posunů lze dále optimalizovat pomocí

- a) opakovaného výpočtu s jinou dvojicí bodů pro definování osy „X“
- b) paralelního posunu osy „X“ o průměrnou hodnotu posunu – platí $\sum q = 0$, ale posuny nejsou minimální
- c) MNČ – platí $\sum q = 0$, posuny jsou minimální, ale rovnoběžné přímky jsou oproti původnímu řešení obecně pootočený

[26],[27],[36]

3.4.4. Terestrické laserové skenování

Poměrně novou metodou sběru dat je laserové skenování. Od jiných geodetických metod se liší především neselektivitou sběru dat, bezkontaktním způsobem měření a jeho rychlostí.

Tato technologie umožňuje určení prostorových souřadnic skenovaného objektu ve formě tzv. mračna bodů, z něhož lze následně vytvořit 3D model či vizualizace. S výhodou ji lze využít např. pro dokumentaci složitých konstrukcí, podzemních prostor či památkových objektů. [56]

3.4.4.1. Zkouška metody na VD Gabčíkovo

Vzhledem k výhodám laserového skenování není divu, že byla provedena zkušební měření využitelnosti metody pro proměřování JD. Výsledky jednoho z nich jsou popsány v článku [35].

Měření bylo provedeno v hale strojovny VD Gabčíkovo a to jak standardními postupy (měření charakteristických bodů totální stanicí s postavením přímo na kolejnici a nivelačním přístrojem), tak metodou laserového skenování.

Zaměřován byl 73 m dlouhý úsek JD o projektovaném rozchodu 17,700 m. Měření proběhlo laserovým skenerem Leica HDS 3000 ($m_s = 4 \text{ mm}$, $m_w = m_z = 40 \text{ cc}$, optimální rozsah měření 1 – 100 m) ze čtyř stanovisek. První dvě byla umístěna na obou okrajích jeřábového mostu, který byl nastaven k počátku proměřovaného úseku. Po vykonání měření byl jeřáb obsluhou posunut o 30 m dále a došlo k proměření zbytku úseku (třetí a čtvrté stanoviště). Z každého stanoviska byla měřena jen jedna kolejnice JD. Snímky se částečně překrývaly na úseku o délce asi 20 m.

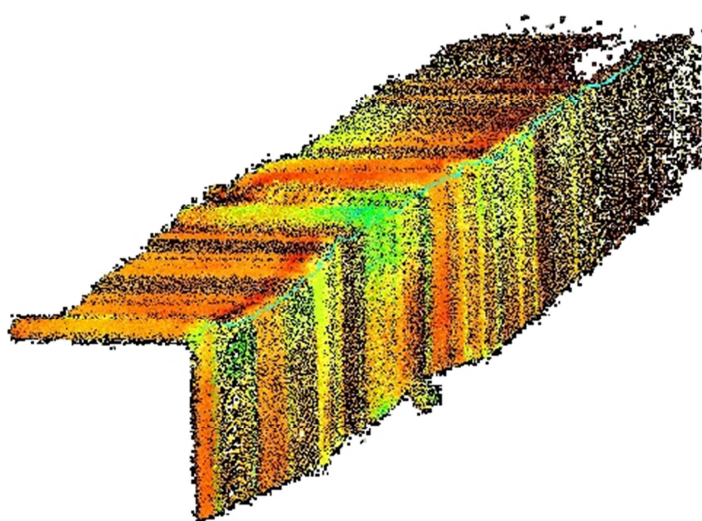
Pro propojení všech skenů do jednoho souřadnicového systému bylo z každého stanoviska měřeno na 6 referenčních bodů, umístěných na svislých sloupech nosné konstrukce strojovny.

Zpracování měření bylo provedeno ve speciálních softwarech Cyclone a PointCloud. Probíhalo v následujících krocích:

1. **Spojení jednotlivých měření** do jednoho pomocí referenčních bodů.
2. **Vyčištění měření** o nepotřebné body a ořezání o úsek dráhy, který nebyl předmětem kontrolního měření.

3. **Vložení úsečky** procházející vnitřní hranou kolejnice do vyčištěného mračna.
4. **Rozdělení kolejnic** na úseky o délce 1 m.
5. **Proložení rovin** do horní a vnitřní hrany kolejnicového pásu v každém jednotlivém úseku.
6. **Vymodelování průsečnic rovin** proložených v kroku 5.
7. **Proložení svislých řezů** kolmých na směr staničení skrze vymodelované úsečky.

V průsečících svislých řezů a úseček vznikly body, definující směrový a výškový průběh JD. Střední chyba určení jejich poloh nepřesáhne 2 mm.



Obr. 3.4. Část mračna bodů jedné z kolejnic s vymodelovanou vnitřní hranou [35]

Souřadnice získané laserovým skenováním musely být ještě opraveny o rozdíl v poloze střednice a vnitřní hrany kolejnice a následně mohly být oba soubory porovnány. Průměrný rozdíl výškových souřadnic byl 1 mm, zatímco průměrný rozdíl příčné souřadnice dosáhl 4 mm.

Autoři došli k závěru, že přesnost měření geometrických parametrů JD metodou laserového skenování je srovnatelná s běžnými postupy, stejně jako čas potřebný k měření a zpracování dat. Hlavní přednost testované metody tkví v objemu získaných dat, který je výrazně větší než u standardních metod. [35], [36]

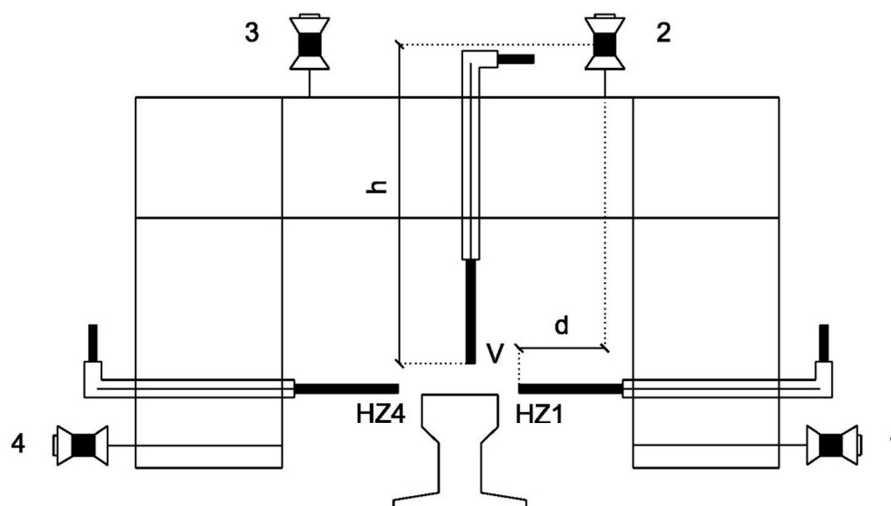
3.4.5. Automatizované měřicí systémy

Další velmi moderní metodou jak měřit prostorové vztahy JD je využití automatizovaných měřicích systémů (dále AMS). Jakkoliv se AMS pro měření JD zatím běžně nevyužívají, mají oproti klasickým postupům celou řadu výhod. Jednu

z možností jak problematiku řešit popisuje disertační práce [36]. Autor vyvinul AMS, který sestává z geodetické (robotizovaná totální stanice) a negeodetické (elektronické měřicí systémy) části.

3.4.5.1. Kalibrace a měření

Před samotným měřením je třeba vykonat celou řadu úkonů, aby získané výsledky byly co nejpřesnější. Jedná se např. o kalibraci elektronických snímačů délky či kalibraci nosné konstrukce měřicího systému (NKMS), tzn. určení vzdáleností d a h mezi identickými body NKMS (reprezentovanými středy odrazných hranolů – body 1 až 4) a dotykovými body snímačů délky (body HZ1, HZ4, V).



Obr. 3.5. Rozmístění indukčních snímačů a hranolů [36]

Geodetická část zajišťuje před samotným měřením JD určení prostorové polohy stanovišek přístroje a prostorové polohy a orientace nosné konstrukce měřicího systému (NKMS) na základě identických bodů. Během měření zabezpečuje kontinuální určení polohy jednoho identického bodu NKMS, který je signalizován 360° odrazným hranolem v kinematickém módu měření.

Negeodetická část AMS prostřednictvím dvou indukčních snímačů délky a vodících koleček sleduje změnu vzájemné polohy identického bodu a kolejnicového pásu ve vodorovném a svislém směru. Měřené údaje z obou částí jsou registrovány do dvou časově synchronizovaných počítačů (z důvodu jiného softwaru pro registraci údajů z každé z částí) a na základě času záznamu jsou následně spojeny.

Z hodnot zjištěných kalibrací a měřených údajů lze již snadno vypočítat souřadnice pozorovaných bodů.



Obr. 3.6. Tvar a umístění NKMS [36]

3.4.5.2. Zpracování výsledků

Ve výsledných souborech (předmětem zájmu jsou zejména souřadnice ve směru kolmém na směr té z os, která je proložena dvěma body střednice koleje a výškové souřadnice) je velké množství hodnot a značný šum. Pro analýzu údajů a aproximaci průběhu křivky byla autorem použita metoda Kalmanové filtrace. Její princip je založen na aktualizaci odhadu (parametrů funkce) MNČ. Sestává ze dvou neustále se opakujících kroků – predikce a aktualizace odhadu. Těm na samotném počátku předchází inicializace systému, která odhadne počáteční parametry transformační funkce směrového i výškového průběhu kolejnic JD a jejich kovarianční matice. Výsledkem Kalmanové filtrace jsou tyto parametry pro každou epochu a jejich střední chyby. Na jejich základě lze vypočítat korigované souřadnice bez šumové složky. [36],[37]

3.4.5.3. Zhodnocení metody

Experimentální měření bylo provedeno na stejné JD jako v kapitole 3.4.4. Porovnáním s výsledky kontrolního měření provedeného totální stanicí s postavením přímo na kolejnicovém pásu byl zjištěn průměrný rozdíl v příčné souřadnici 3 mm a průměrná odchylka ve výškové souřadnici 2 mm. Střední chyba určení polohy bodu AMS je max. 2,5 mm v příčné souřadnici a 1,4 mm ve výškové

souřadnici. Limitujícím faktorem přesnosti je přitom přesnost určení polohy NKMS totální stanicí.

Hlavní výhody využití AMS pro měření JD jsou podobné jako u předcházející metody. Metoda ve srovnání s běžnými způsoby měření prostorových vztahů JD umožňuje časově efektivnější měření, přičemž počet pozorovaných bodů je mnohem vyšší. Není rovněž nutný pohyb pracovníků ve výškách při měření, čímž se výrazně zvyšuje bezpečnost práce. NKMS je připevněna na konstrukci jeřábového mostu, JD je tedy na rozdíl od ostatních metod měřena při zatížení, což může být pro určité aplikace rovněž výhodné. [36]

3.4.5.4. Integrace inerciálních měřicích systémů

Další cestou ve vývoji technologie pro měření JD by mohly být inerciální měřicí systémy (IMS). Inerciální metody určování polohy jsou založeny na principu, že poloha tělesa (v našem případě IMS) může být určena dvojitou časovou integrací zrychlení a časovou integrací úhlové rychlosti, probíhá-li měření ve známém souřadnicovém systému. Inerciálním měřicím systémem rozumíme soustavu tří akcelerometrů a tří gyroskopů spojenou s časomírou. Výhodou IMS je jejich autonomie (nezávislost na jakémkoli dalším zařízení), hlavní nevýhodou je exponenciální nárůst polohové chyby určovaných bodů s časem. Ta ovšem mizí, když se IMS integruje s jiným typem navigace (např. GPS). [30]

IMS by mohly zmírnit problém nedostatečně přesného určení polohy hranolu upevněného na NKMS robotizovanou totální stanicí v kinematickém módu měření. Integrací IMS jako další části automatizovaného systému a jeho aplikací v reálném čase bude možné dosáhnout stavu okamžitého zobrazení odchylek od projektovaných pojezdových drah jeřábů.

Ověření přesnosti a posouzení spolehlivosti prozatím není možné vykonat kvůli absenci testovacích měření. [36]

3.5. Určování rektifikačních hodnot směrového průběhu jeřábových drah

Ať směrový průběh JD měříme jakoukoli metodou, je potřeba z naměřených dat určit rektifikační hodnoty směrového průběhu dráhy. To můžeme provést:

a) **grafickým způsobem**

b) analyticko-grafickým způsobem**c) analytickým způsobem**

- užitím jedné záměrné přímky
- užitím dvou záměrných přímek

První dva způsoby se již nepoužívají. Vycházejí z grafického zobrazení obou záměrných přímek a vodorovných odchylek společně s redukováným rozchodem. Na základě omezujících podmínek, které povolují největší posuny, se určí pásy, ve kterých je možno posunovat podélné osy [36].

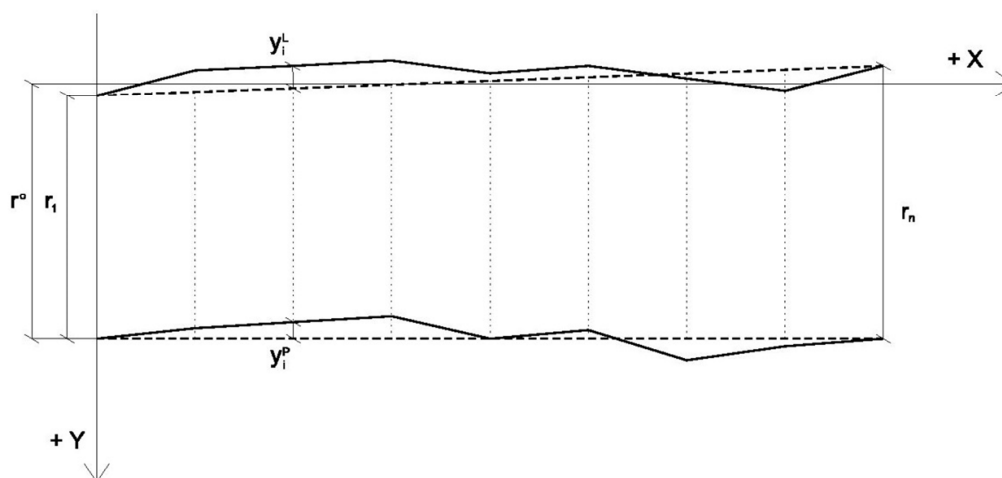
Analytický způsob určení rektifikačních hodnot JD užitím jedné záměrné přímky byl počátkem 60. let velmi dobře popsán v [44]. Autoři této práce popsali způsob, jak naměřené směrové úchyly kolejnice vyrovnat MNČ. Ta zajistí, aby opravy v příčném směru byly co nejmenší, čímž se také nejméně poruší statické poměry při rektifikaci dráhy. Vyrovnání se dá dále zjednodušit zvolením směrnice nebo metodou aritmetických průměrů.

S rozvojem výpočetní techniky bylo ovšem možné přistoupit i ke složitějším matematickým modelům. Autoři [39] popisují jednak modifikovaný způsob analytického určení rektifikačních hodnot JD užitím jedné záměrné přímky a jednak i způsob určení oprav užitím dvou záměrných přímek. Výhodami tohoto způsobu je možnost volby záměrných přímek v obecné poloze vzhledem ke spojnicím koncových bodů, možnost trvalé stabilizace bodů vztažné soustavy, možnost určování směrových parametrů JD nezávisle na poloze jeřábu či dobrá využitelnost na dlouhých JD. V neposlední řadě tento způsob snižuje nároky na proces měření a zvyšuje bezpečnost práce.

Pro potřeby této DP model se dvěma záměrnými přímkami nebyl využit, modely s jednou záměrnou přímkou budou popsány v následujících kapitolách.

[1],[34],[36],[40]

3.5.1. Model vyrovnání Novák – Šrom



Obr. 3.7. Dispozice modelu Novák – Šrom [44]

Na obr. 3.7. je znázorněna volba souřadnicové soustavy a popis použitých veličin. Osa „X“ je rovnoběžná se záměrnou přímkou pravé koleje, která je odsazená od počátku o hodnotu r^o , která je rovna projektovanému rozchodu nebo zvolené hodnotě rozchodu po rektifikaci dráhy, která je v toleranci projektované hodnoty. Osa „Y“ prochází počátky záměrných přímek obou kolejí. Souřadnice y_i na levé a pravé koleji se vypočtou následovně:

$$y_i^P = r^o + o_i^P, \quad (3.1.)$$

$$y_i^L = r^o - r_1 + \frac{r_1 - r_n}{d_{1,n}} \cdot x_i + o_i^L, \quad (3.2.)$$

kde r_1 a r_n jsou měřené rozchody na počátečním a koncovém bodě záměrné přímky, $d_{1,n}$ je vzdálenost mezi těmito body a o_i^L a o_i^P jsou měřené příčné úchyly na levé a pravé koleji. Pokud je nesoulad mezi měřenými rozchody a příčnými úchyly, je potřeba rozdělit jej po třetinách do úchyly na levé a pravé koleji a rozchodu.

Samotné vyrovnání vychází ze směrnice tvaru přímky:

$$y = k \cdot x + q, \quad (3.3.)$$

kde k znázorňuje směrnici přímky a q posun počátku po ose „Y“. Přetvořené rovnice oprav budou ve tvaru:

$$v_i = a_i \cdot dq + b_i \cdot dk + l_i, \quad (3.4.)$$

Kde dq a dk jsou změny určujících parametrů přímky (potažmo podélné osy JD), parametry a_i a b_i parciální derivace výchozí funkce přímky podle proměnných q a k a l_i znázorňuje rozdíl přibližných a naměřených hodnot měřených veličin. Pro zjednodušení se zavádí hodnota $k^o = 0$. Člen l_i se poté vypočte pro pravou a levou stranu následovně:

$$l_i^P = r^o - y_i^P, \quad (3.5.)$$

$$l_i^L = -y_i^L. \quad (3.6.)$$

Parciální derivace mají tvar $a_i = 1$ a $b_i = y_i$.

Rovnice oprav se podrobí podmínce minima $[vv] = \min$. a vznikají dvě normální rovnice:

$$[aa] \cdot dq + [ab] \cdot dk + [al] = 0 \quad (3.7.)$$

$$[ab] \cdot dq + [bb] \cdot dk + [bl] = 0, \quad (3.8.)$$

k jejichž řešení lze s výhodou použít determinantu soustavy rovnic:

$$D = [aa] \cdot [bb] - [ab] \cdot [ab]. \quad (3.9.)$$

Neznámé se pak vypočtou:

$$dq = \frac{[ab] \cdot [bl] - [bb] \cdot [al]}{D}, \quad (3.10.)$$

$$dk = -\frac{[aa] \cdot [bl] - [ab] \cdot [al]}{D}. \quad (3.11.)$$

Celý výpočet se nakonec zkontroluje vztahy:

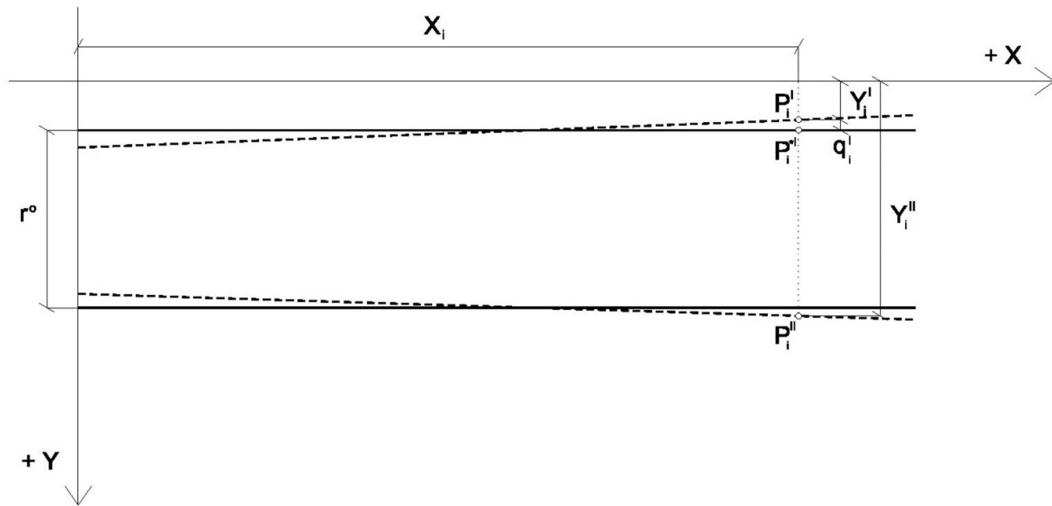
$$[v] = 0 \quad (3.12.)$$

$$[al] \cdot dq + [bl] \cdot dk + [ll] = [vv]. \quad (3.13.)$$

Popsaný postup vychází z [44], přičemž byl pro potřeby DP přeznačen.

3.5.2. Model vyrovnání Lukáč – Kopáček

Další možností jak dospět k rektifikačním hodnotám JD je vyrovnávací model autorů Lukáče a Kopáčka, uveřejněný v [39] a následně i [40]. Volba souřadnicové soustavy a popis užitých veličin je na obr. 3.8.



Obr. 3.8. Dispozice modelu Lukáč-Kopáček [39]

Podmínka minima je formulována ve tvaru:

$$\sum_{i=1}^n (q_i^I{}^2 + q_i^{II}{}^2) = \min., \quad (3.14.)$$

kde q_i^I a q_i^{II} jsou rozdíly y-vých souřadnic bodů P_i^{*I} a P_i^I , resp. P_i^{*II} a P_i^{II} . K výpočtu modelu je potřeba měřit staničení X_i^I a X_i^{II} a příčné úchyly Y_i^I a Y_i^{II} . Pro numerické řešení úlohy je nutné nejprve vypočítat pomocné parametry X_o a Y_o a tangens směrníku α přímky $P_i^{*I}P_i^{II}$:

$$Y_o = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n 2\sigma_i, \quad (3.15.)$$

$$X_o = \frac{X_n - X_1}{2}, \quad (3.16.)$$

$$\tan \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^* 2\sigma_i}{2 \sum_{i=1}^n X_i^{*2}}, \quad (3.17.)$$

kde dílčí veličiny výpočtu jsou počítány:

$$2\sigma_i = Y_i^{II} - r^o - Y_i^I, \quad (3.18.)$$

$$X_i^* = X_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (3.19.)$$

Vyrovnané hodnoty odchylek dráhy se poté vypočítají:

$$q_i^I = Y_i^I - Y_o - X_i^* \tan \alpha, \quad (3.20.)$$

$$q_i^{II} = q_i^I + \sigma_i - \Delta_r, \quad (3.21.)$$

kde dílčí veličiny jsou počítány:

$$\sigma_i = Y_i^{II} - r^o - Y_i^I, \quad (3.22.)$$

$$\Delta_r = r^o \tan \alpha \tan \frac{\alpha}{2}. \quad (3.23.)$$

Vyrovnané hodnoty splňují podmínku minima popsaného výše a zároveň leží na rovnoběžných přímkách. Správnost výpočtu můžeme kontrolovat vztahem:

$$\sum_{i=1}^n (q_i^I + q_i^{II}) = 0. \quad (3.24.)$$

4. SOUVISEJÍCÍ TECHNICKÉ PŘEDPISY

Ve 20. století došlo k masivnímu nárůstu používání jeřábů v průmyslových podnicích i jiných provozech, avšak geodetické kontrole prostorových vztahů JD zpočátku nebyla přisuzována valná důležitost. To se ale postupem času měnilo a průmyslové podniky začaly ve vlastním zájmu tuto kontrolu aktivně vyhledávat. Ukázalo se totiž, že pokud není JD řádně zkontrolována a eventuálně rektifikována, vznikají obrovské náklady kvůli vyšší spotřebě energie, opotřebení zařízení či nájmů za náhradní zařízení (např. autojeřáb).

Původně sloužila jako podklad pro posuzování naměřených úchylek norma ČSN 27 2430 – Jeřábové dráhy – prostorová úprava. Rozhodnutím československé normalizační komise bylo počátkem 60. let proměřování jeřábových drah do této normy začleněno jako nutná součást [19] k udělení povolení k zahájení provozu jeřábových drah. V roce 1986 byla tato norma nahrazena normou ČSN 73 5130 – Jeřábové dráhy [9]. Její aktualizovaná verze je platná od března 1994 a je zároveň i aktuálně platným předpisem pro prostorovou úpravu, konstrukční řešení, tolerance, měření úchylek a rektifikace jeřábových drah jeřábů [19].

V roce 1960 byla kromě toho na návrh ÚGK Praha vydána Směrnice na proměřování jeřábových drah geodetickými metodami [51]. V roce 1971 vychází též Technologický postup pro určování prostorových vztahů a rektifikaci jeřábových drah autorů Herdy a Vejdělka a v roce 1978 dále Metodický návod pro určování prostorových vztahů jeřábových drah [1].

V rámci harmonizace technických norem s Evropskou unií dochází v poslední době k rozsáhlým změnám, proto se této problematice budu v následující kapitole věnovat poněkud šířeji.

4.1. Zařazování ocelových konstrukcí

Zařazení ocelové konstrukce (v našem případě jeřábové dráhy) do výrobní skupiny (A,B,C) podle normy ČSN 73 2601 [6] bylo dříve důležité, protože se od něj odvíjely intervaly preventivních a podrobných kontrolních prohlídek konstrukce a v normě ČSN 73 2611 [8] pak byly pro tyto výrobní skupiny určeny povolené

úchyly konstrukcí a požadovaná přesnost kontrolního měření. Tyto normy byly zrušeny k 1. 9. 2011 a byly nahrazeny evropskými standardy.

Pro zařazení ocelové konstrukce jsou zde používány normy ČSN EN 1090 [12] a ČSN EN 1090-2 [11]. Konstrukce se zde třídí pomocí čtyř tříd provedení EXC1 – EXC4, přičemž požadavky EXC4 jsou nejpřísnější. Zařazení ovšem vychází z několika parametrů. Prvním z nich je třída následků, tedy riziko při kolapsu konstrukce. Třídy následků jsou tři (CC1 – CC3; consequences class) a jsou popsány v tabulce B.1 přílohy B normy [12]. Dále se bere v úvahu kategorie použitelnosti (SC1 a SC2), tedy riziko spojené s používáním konstrukce. Jsou dány v tabulce B.1 přílohy B normy [11]. Posledním parametrem pro určení třídy provedení je výrobní kategorie (PC1 a PC2, tabulka B.2 přílohy B normy [11]), tedy riziko spojené s prováděním konstrukce. Vlastní zatřídění do třídy provedení probíhá podle tabulky B.3 normy [11] následovně:

Třída následků		CC1		CC2		CC3	
Kategorie použitelnosti		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Výrobní kategorie	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 ^a	EXC3 ^a
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 ^a	EXC4
^a EXC 4 se má použít na zvláštní konstrukce nebo konstrukce s extrémními následky při porušení							

Tab. 4.1. Doporučená matice pro stanovení tříd provedení [11],[28]

Většina jeřábových drah tedy bude spadat do třídy provedení EXC3.

4.2. Kontrolní prohlídky

Dříve byla povinnost periodického sledování ocelových konstrukcí zakotvena v normě ČSN 73 2601 [6]. Aktuálně platná norma ČSN EN 1090-2 [11] tuto povinnost neuvádí. Proto vstoupila v dubnu 2012 v platnost nová norma ČSN 73 2604 [7], která tuto mezeru zaplňuje.

Norma [7] rozeznává následující typy prohlídek:

- kontrola souladu skutečného stavu konstrukce a zatížení s dokumentací
- výchozí prohlídka (u přejímky nové konstrukce nebo u starších konstrukcí, kde nejsou k dispozici výsledky vstupní prohlídky)

- c) běžná prohlídka (vizuálně, jednoduché nástroje)
- d) podrobná prohlídka (kontrola dokumentace, zaměření geometrického tvaru, změření korozních úbytků)
- e) mimořádná prohlídka (v případě závažných zjištění při pravidelné prohlídce nebo po mimořádné události, např. požáru či zásahu bleskem)
- f) prohlídka použitelnosti (deformace, kmitání atp.)
- g) speciální druhy kontrol a zkoušek (např. statická/dynamická zatěžovací zkouška, dlouhodobé sledování konstrukce, speciální parametry u stožárů, pohyblivých tribun, konstrukcí s jeřáby atd.)

Norma dále předepisuje pro konstrukce zařazené ve třídě následků CC1 a CC2 provést běžnou prohlídku nejméně jednou za 5 let a podrobnou nejméně jednou za 10 let na základě doporučení běžné nebo mimořádné prohlídky. U konstrukcí třídy následků CC3 se má běžná prohlídka provádět jednou za rok a podrobná jednou za 5 let.

U konstrukcí s jeřáby se má pomocí měření pravidelně kontrolovat a rektifikovat výšková a směrová poloha kolejnice jeřábové dráhy. Četnost kontrol má být předepsána v předpisu pro kontrolu a údržbu a rektifikace proběhnou na základě výsledků těchto kontrol.

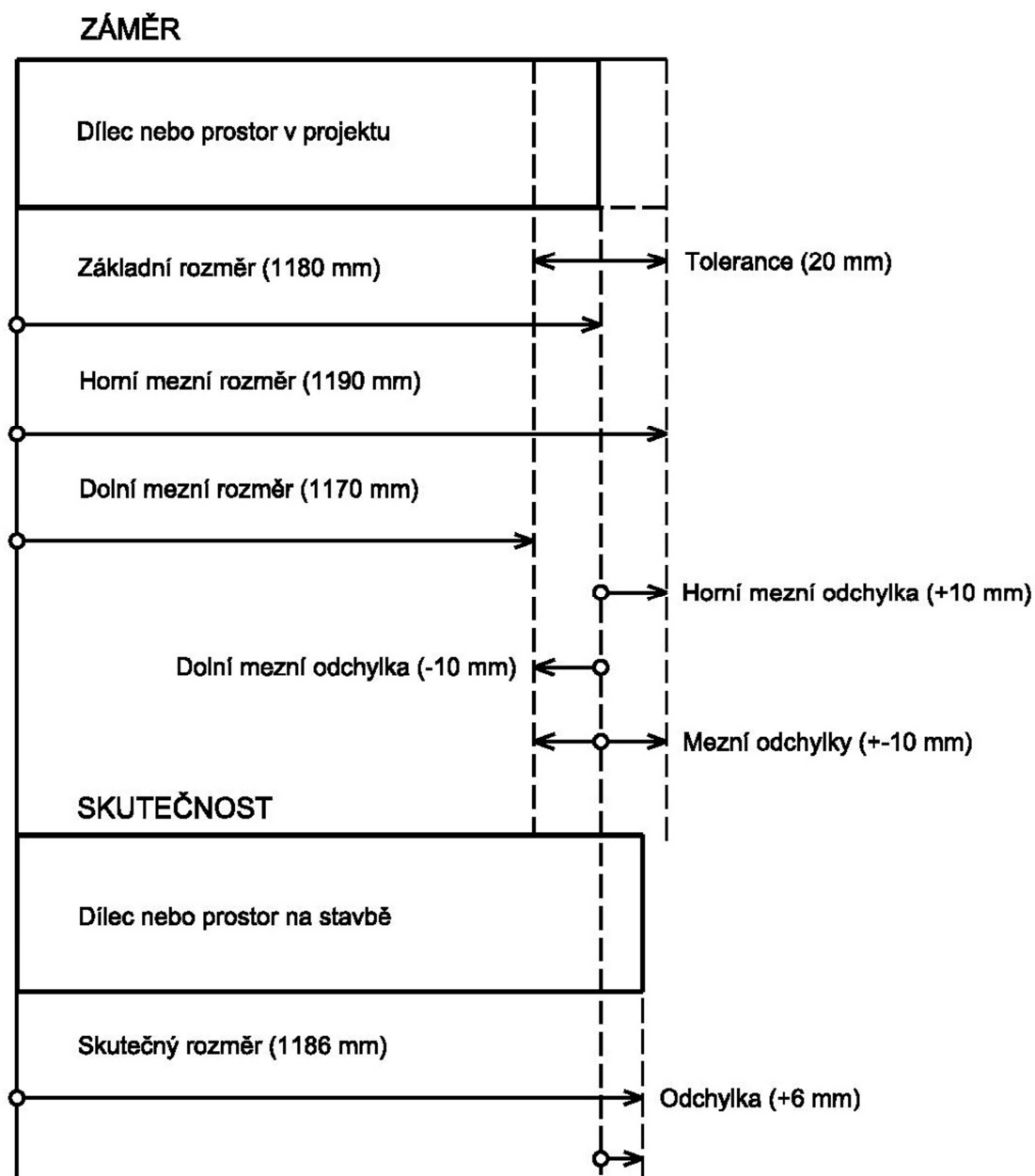
4.3. Tolerance

Pojem tolerance je zaveden v normě ČSN ISO 1803 [15] jako algebraický rozdíl mezi horním a dolním mezním rozměrem. U stavebních objektů se tolerance běžně vyjadřuje jako \pm mezní odchylka, čímž je tolerance implicitně vyjádřena. Vztahy mezi pojmy tolerance, mezní rozměr a mezní odchylka definuje obr 4.1.

Norma [11] dále dělí tolerance na základní, funkční, zvláštní a výrobní. Funkční tolerance jsou geometrické tolerance, požadované pro dosažení funkce jiné než stanovené s ohledem na mechanickou únosnost a stabilitu (tj. základní tolerance), např. pro vzhled či přesnost provedení. Tyto dva typy tolerancí jsou normativní. Obecně nemají návaznost na třídu provedení.

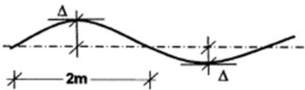
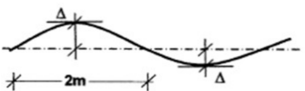
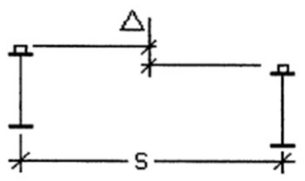
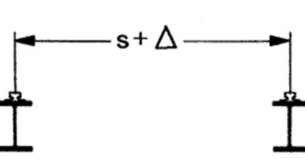
Tolerance ocelových konstrukcí dříve určovala norma [8] ve formě přípustných úchylek. Z ní vychází i tolerance v aktuálně platné normě ČSN 73 5130 [9]. Zároveň ovšem platí i funkční montážní tolerance pro jeřábové dráhy, uvedené

v části D.2.21 přílohy D normy [11]. Srovnání aktuálně platných tolerancí uvádí tab. 4.2.



Obr. 4.1. Vztah mezi tolerancí a mezními rozměry a odchylkami [15]

Tolerance v ČSN EN 1090-2 [11] jsou uvedeny pro dvě toleranční třídy. Druhá, přísnější třída se může použít pro části konstrukce, ke kterým se připojuje zasklená fasáda, ve snaze zredukovat množství vůlí a přizpůsobování ve spojích. Jestliže se použije příloha D.2 a toleranční třída není stanovena, používá se třída 1.

Kritérium	Dovolená úchylka δ		
	ČSN EN 1090-2		ČSN 73 5130
	třída 1	třída 2	
Umístění koleje v půdoryse	$\delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\delta = \pm 5 \text{ mm}$	$\delta = \pm 10 \text{ mm}$
Místní přímost kolejnice 	$\delta = \pm 1,5 \text{ mm}$	$\delta = \pm 1 \text{ mm}$	$\delta = \pm 1 \text{ mm}$
	přímost na délku měřidla 2 m		
Úroveň kolejnice	$\delta = \pm 15 \text{ mm}$	$\delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\delta = \pm 10 \text{ mm}$
	vztaženo k předpokládané úrovni		
Úroveň kolejnice	$\delta = \pm L/500$, ale $ \delta \geq 10 \text{ mm}$	$\delta = \pm L/1000$, ale $ \delta \geq 10 \text{ mm}$	
	úroveň na celé rozpětí L nosníků JD		
Úroveň kolejnice 	$\delta = \pm 3 \text{ mm}$	$\delta = \pm 2 \text{ mm}$	$\delta = \pm 2 \text{ mm}$
	nepřesnost pro délku měřidla 2 m		
Relativní úrovně kolejnic na obou větvích JD 	$\delta = \pm 20 \text{ mm}$ pro $s \leq 10 \text{ m}$ $\delta = \pm s/500$ pro $s > 10 \text{ m}$	$\delta = \pm 10 \text{ mm}$ pro $s \leq 10 \text{ m}$ $\delta = \pm s/1000$ pro $s > 10 \text{ m}$	$\delta = 10 \text{ mm}$
Vzdálenost s mezi středy jeřábových kolejnic 	$\delta = \pm 10 \text{ mm}$ pro $s \leq 16 \text{ m}$ $\delta = \pm [10 + (s - 16)/3]$ pro $s > 16 \text{ m}$	$\delta = \pm 5 \text{ mm}$ pro $s \leq 16 \text{ m}$ $\delta = \pm [5 + (s - 16)/4]$ pro $s > 16 \text{ m}$	$\delta = \pm 3 \text{ mm}$ pro $s \leq 10 \text{ m}$ $\delta = \pm [3 + 0,25(s - 10)]$ maximálně $\pm 15 \text{ mm}$ pro $s > 10 \text{ m}$
Umístění nárazníků	$\delta = \pm s/1000$, ale $ \delta \leq 10 \text{ mm}$	$\delta = \pm s/1000$, ale $ \delta \leq 10 \text{ mm}$	$\delta = 10 \text{ mm}$ (ČSN 73 2611)

Tab. 4.2. Srovnání aktuálně platných tolerancí pro měření JD [9], [11]

Tolerance v ČSN 73 5130 [9] platí pro nové jeřábové dráhy a jsou stanoveny pro standardní teplotu 20°C. Jsou-li za provozu překročeny o 20%, musí se jeřábová dráha vyrovnat. Po znatelné zhoršení jízdních vlastností jeřábu může být účelné jeřábovou dráhu vyrovnat, i když překročení tolerancí ještě nedosáhlo 20%.

4.4. Metody a přesnost

Požadovaná přesnost kontrolních měření byla definována normou [8], pro výrobní skupinu A byla požadovaná přesnost daná nejvýše 0,1 velikosti přípustné úchyly.

Nyní metody geodetického zaměření sestavené ocelové konstrukce a jeho přesnost určuje norma [11], definuje je však pomocí odkazů na další normy, týkající se např. metod měření stavebních objektů či terénních postupů pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů.

Metodika měření prostorových vztahů JD je podrobně popsána také ve Směrnici [51] a Metodickém návodu [1]. Tyto dokumenty jsou ovšem poplatné době svého vzniku, zaměřují se tedy výhradně na metodu záměrné přímky, popsanou v kapitole 3.4.1.

4.5. Měření úchylek

Příčné a výškové úchyly kolejnice, úchyly rozchodu jeřábové dráhy a rozdíl výškových úrovní se zjišťují v místech všech podpor dráhy a na převislých koncích nosníků delších než 3 m. Jsou-li pole delší než 18 m, informativně se měří úchyly v mezilehlých místech, vzdálených nejvýše 12 m.

Má-li jedna větev poloviční rozpětí polí proti druhé větvi a nepřesáhne-li rozpětí většího pole 18 m, může se měřit rozdíl výškových úrovní obou kolejnic jen v místě podpor větve s větším rozpětí polí.

Jsou-li na jeřábové dráze v době měření jeřáby, musí být odstraněny do krajní polohy jeřábové dráhy a být mimo provoz. Měření nesmí být ovlivněno pojezdem jeřábů v sousedních lodích.

Kontrola geometrického tvaru jeřábové dráhy se musí provést po montáži, generální opravě nebo rekonstrukci. Současně je nutno ověřit připoje nosníků dráhy k podporám z hlediska využití jejich rektifikačních možností. Výsledky se uvedou v protokolu, který obsahuje technickou zprávu a grafické znázornění výsledků. [9]

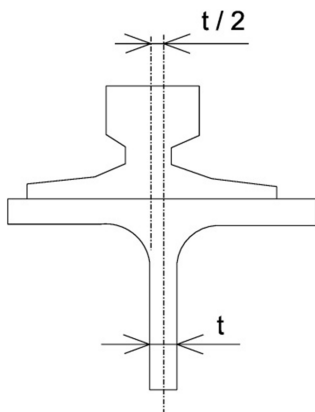
4.6. Rektifikace

Konstrukční řešení jeřábových drah musí umožnit jejich co nejsnazší rektifikaci. Vyrovnání tvaru jeřábové dráhy se řeší příčnými a výškovými posuny nosníků v jejich přípoích k podporám. Rektifikace nesmí být provedena naklápěním nosníků ani příčným posunem kolejnice po nosníku.

Příčný posun kolejnice je omezen tolerancí posunu svislé osy stojiny kolejnice vůči svislé ose nosníku, která je definována přípustnou úchylkou

$$\delta_{pos} = \pm \frac{t}{2}, \quad (4.1.)$$

kde t je tloušťka stěny nosníku (větší rozdíl se povoluje, pouze pokud je zajištěna potřebná tuhost nosníku, který nese kolejnici). [9]



Obr. 4.2. Posun svislé osy stojiny kolejnice vůči svislé ose nosníku [9]

5. POPIS MĚŘENÝCH JEŘÁBOVÝCH DRAH A VOLBA MĚŘICKÝCH METOD

5.1. Použité vybavení

5.1.1. Prostorová polární metoda

Měření prostorovou polární metodou byla provedena **přesnou totální stanicí** Topcon GTS-300, v.č. NV 0180. Parametry přístroje jsou uvedeny v tab. 5.1.

Úhlová přesnost	1" (0,3 mgon)
Délková přesnost	2 mm + 2 ppm

Tab. 5.1. Parametry přístroje Topcon GTS-300 [24],[60]

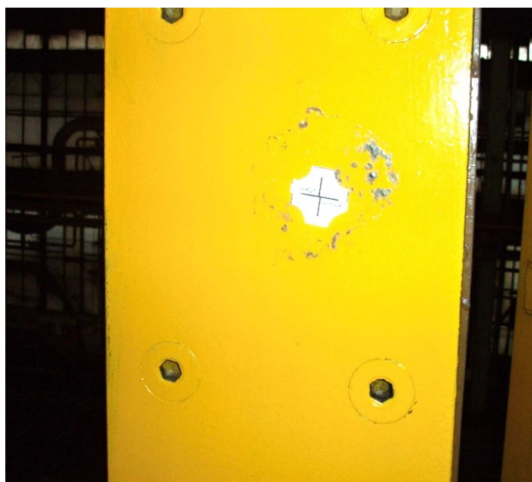


Obr. 5.1. Totální stanice TOPCON GTS-300



Obr. 5.2. Průmyslový hranol Nikon

Pro signalizaci cíle byl použit **průmyslový hranol Nikon** (obr. 5.2.), usazený v nosném rámu. Ten je navíc opatřen krabicovou libelou a zespodu je do něj našroubovaný ocelový hrot pro přesnou centraci hranolu na bodě kolejnice. Signalizace čel nárazek byla zajištěna **odrazným štítkem Sokkia RS30N** (obr. 5.3.).



Obr. 5.3. Nárazka s nalepovacím štítkem Sokkia



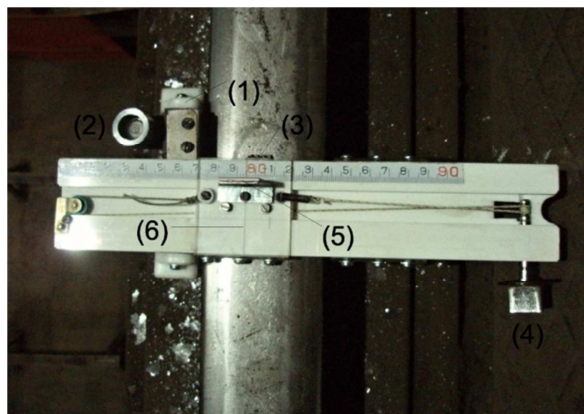
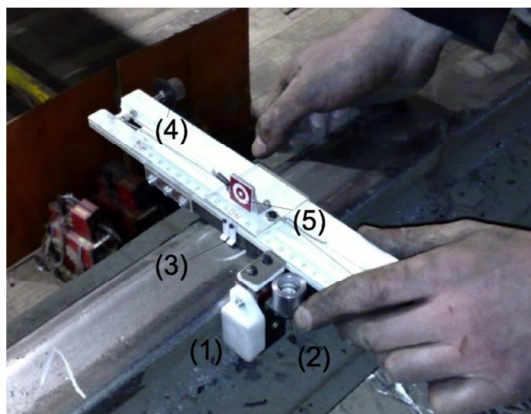
Obr. 5.4. Pomůcka k držení hranolu

Na obr. 5.2. je dále vidět **pomocný upínací magnet** s ocelovou tyčí, který se umístil v blízkosti měřeného bodu tak, aby o něj mohl být opřen hranol a ulehčil tak obsluze nepříjemný úkon držení hranolu ve svislé poloze, který může trvat až několik minut na každém bodě. Tato pomůcka byla využita jen při měření ve škvárovně.

Při měření v mostárně byla použita nová pomůcka, jejímž základem je opět upínací magnet s ocelovou tyčí. Ta je další tyčí a soustavou upínacích šroubů spojena s tyčí s ocelovým hrotem, našroubovanou do nosného rámu průmyslového hranolu (obr. 5.4.). Hrot se přiloží do vyraženého důlku, magnet se upne na kolejnici a soustavou šroubů se urovná krabicová libela nosného rámu. Obsluha hranolu je tímto ušetřena dlouhého držení hranolu.

5.1.2. Metoda záměrné přímky

Záměrná přímka byla realizována dalekohledem totální stanice. Pro čtení příčných úchylek nebyla použita klasická milimetrová stupnice, ale nové měřítko Ústavu geodézie FAST VUT v Brně. Jeho základem je upravené logaritmické pravítko, které je dále opatřeno magnetem (1) pro přichycení ke svislé hraně kolejnice a zajistí tím první podmínku správné funkce měřítka, tedy **kolmost svislé roviny, procházející podélnou hranou stupnice a podélné střednice kolejnice**. Krabicová libela (2) slouží k **urovnání měřítka do vodorovné roviny**, což je druhá podmínka korektního čtení. Třetí podmínkou je **umístění měřítka tak, aby se pozorovaný bod nacházel přesně uprostřed výřezu v zobáčku (3)**, který je umístěn na nule stupnice (nominální hodnota 80).

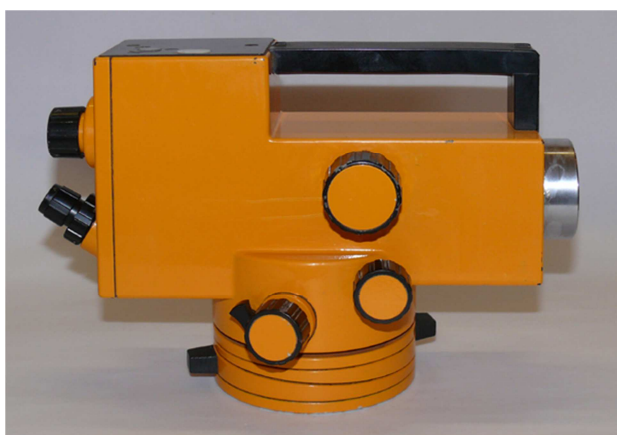


Obr. 5.5. a 5.6. Pomůcka pro čtení polohy bodu pro metodu záměrné přímky

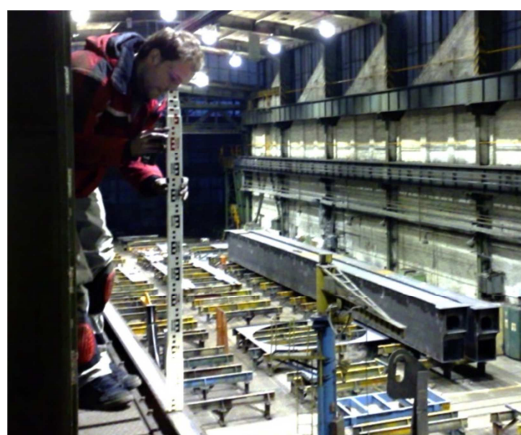
Otočný šroub (4) slouží k posunutí terčíku (5) přesně do záměrné přímky, což zajistí komunikace obsluh měřicího přístroje a měřítka. Na rysce (6), umístěné kolmo ke stupnici přesně v místě středu terčíku se potom čte poloha pozorovaného bodu vůči záměrné přímce. Konstrukce měřítka je patrna z obr. 5.5. a obr. 5.6.

5.1.3. Nivelace

Nivelační měření bylo měřeno metodou technické nivelace přístrojem Zeiss NI 020A (obr. 5.7.). Střední kilometrová chyba tohoto přístroje je rovna hodnotě $m_o = 2,0 \text{ mm}$. Cíleno bylo na hliníkovou teleskopickou nivelační lať pro technickou nivelaci s centimetrovou stupnicí, milimetry se odhadovaly (obr. 5.8.).



Obr. 5.7. Zeiss NI 020A [42]



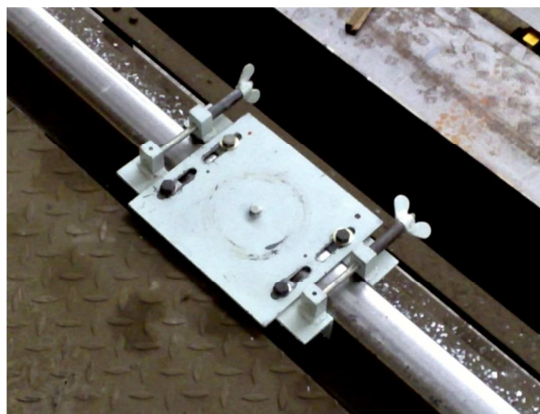
Obr. 5.8. Teleskopická nivelační lať

5.1.4. Ostatní pomůcky

K zaměření prostorových vztahů jeřábové dráhy je potřeba ještě celá řada dalších pomůcek, uvedu některé z nich.



Obr. 5.9. Středicí nůžky s důlčikem [55]



Obr. 5.10. Upínací deska

Pro vyznačení bodů střednice je nezbytné mít kladívko a středicí nůžky s důlčkem (obr. 5.9.), popř. strojnické posuvné měřítko a samostatný důlčík; křída může posloužit ke zvýraznění polohy bodů.

Upínací deska (obr. 5.10.) slouží k postavení přístroje přímo na kolejnici. Při měření se vzhledem k pohodlí obsluhy dobře osvědčila karimatka pro měřiče, figurantovi zase velice příjemná práci nákoleníky. Nezbytná je vysílačka pro komunikaci mezi měřičem a figurantem, v tmavých průmyslových halách se rovněž osvědčila svítidla, kterou lze zlepšit viditelnost hranolu, stupnice nivelační latě nebo terčíku na výše popsaném měřítku k metodě záměrné přímky.

Při měření byly snímány také teplota, tlak a relativní vlhkost vzduchu. Ve škvárovně byl pro měření tlaku vzduchu použit digitální barometr Greisinger GDT 1100 ev.č. 10, pro měření teploty a relativní vlhkosti byl použit digitální teploměr / vlhkoměr Greisinger GFTH 200 ev.č. 13. V mostárně byl použit digitální teploměr / vlhkoměr / barometr Comet D4130, v.č. 04910262. Údaje z přístrojů byly snímány a registrovány po celou dobu měření jeřábových drah v intervalu 10 minut.

5.2 Rozbor přesnosti

Mezní odchylky geometrických parametrů jsou v obou normách uvedeny ve formě $\pm \delta_{PAR}$, tedy \pm mezní odchylka konkrétního geometrického parametru. Ta se skládá ze tří částí: mezní odchylka stavebních dílců δ_{SD} , mezní odchylka montáže δ_M a mezní vytyčovací odchylka δ_{MET} [43]. Mezní rozměry geometrického parametru lze uvést také ve formě tolerance T (viz obr. 4.1.). Pro případ jeřábových drah, kde mají horní i dolní mezní odchylka parametru stejnou velikost, lze napsat:

$$T = 2 \cdot \delta_{PAR}. \quad (5.1.)$$

Norma [5] uvádí hodnotu mezní odchylky kontrolního měření jako:

$$\delta_{MET} \leq 0,2 \cdot T = 0,4 \cdot \delta_{PAR}. \quad (5.2.)$$

Hodnota střední chyby pro posouzení metody bude uvažována vždy pro nejméně výhodnou možnou konfiguraci. V rámci diplomové práce bude dodržována terminologie normy [9] a odchylky geometrických parametrů jeřábových drah budou nazývány úchytkami.

Pro výpočet středních chyb v rámci rozboru přesnosti byly použity parametry přístrojů z kapitoly 5.1. Vzhledem k tomu, že v normách [9] a [11] jsou definovány různé dovolené úchytky jednotlivých geometrických parametrů JD, rozbor přesnosti bude proveden vždy pro nejpřísnější z nich.

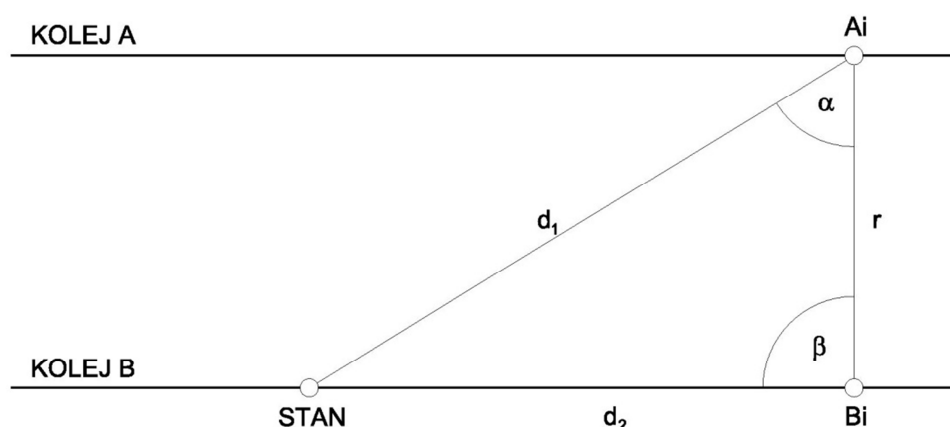
5.2.1. Přesnost měření rozchodu

Rozchod bude měřen polární metodou. Nejpřísnější kritérium rozchodu JD uvádí norma [9], a to:

$$\delta_r = 3 + 0,25 \cdot (s - 10) \text{ mm.} \quad (5.3.)$$

Střední chybu měřeného rozchodu lze vyjádřit jako střední chybu vytyčení úsečky z polárních souřadnic (dispozice veličin viz obr. 5.11.) [62]:

$$m_{r_o}^2 = m_{d_1}^2 \cdot \cos^2(\alpha) + m_{d_2}^2 \cdot \cos^2(\beta) + 2d_1^2 \cdot \sin^2(\alpha) \cdot \left(\frac{m_\omega}{\rho}\right)^2. \quad (5.4.)$$



Obr. 5.11. Schéma označení veličin při výpočtu přesnosti vytyčení úsečky [62]

V tabulce 5.2. jsou uvedeny mezní odchylky měření rozchodu pro jednotlivé JD ($\delta_{MET,r}$), střední chyby tohoto měření při součiniteli konfidence $t = 2$ a dosažená

střední chyba měření rozchodu vypočítaného aritmetickým průměrem dvou měření m_r .

Nejméně výhodná konfigurace pro měření rozchodu se nachází na bodech, kde záměra na jeden z bodů profilu je kolmá nebo téměř kolmá k podélné ose dráhy. V našem případě se jedná o profil č. 6 škvárovny, kde střední chyba aritmetického průměru měřených rozchodů, počítaná podle vzorce:

$$m_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n m_{x_i}^2}{n^2}}, \quad i = (1, 2, \dots, n), \quad (5.5.)$$

dosáhla na 1,3 mm. Tato hodnota sice nevyhovuje přesnosti vypočtené z mezní úchyly rozchodu $m_{MET,r} = 1,0 \text{ mm}$, podle [43] je však možné navýšit poměr mezní vytyčovací odchylky a tolerance geometrického parametru až na:

$$\delta_{MET} \leq 0,35 \cdot T, \quad (5.6.)$$

pokud je požadavek přesnosti na hranici možností geodetických metod, což v našem případě je. V tomto případě bude požadovaná střední chyba měření rovna hodnotě $m_{MET,r} = 1,8 \text{ mm}$ a zvolenou metodu tedy považujeme za vyhovující.

	$T_r \text{ [mm]}$	$\delta_r \text{ [mm]}$	$\delta_{MET,r} \text{ [mm]}$	$m_{MET,r} \text{ [mm]}$	$m_r \text{ [mm]}$
spalovna	9,2	4,6	1,8 (3,2)	0,9 (1,6)	1,3
mostárna	10,2	5,1	2,0 (3,6)	1,0 (1,8)	1,0

Tab. 5.2. Přesnost měření rozchodu

5.2.2. Polohová přesnost určovaných bodů

Dovolená úchylka pro umístění koleje v půdoryse je v obou normách [9] i [11] definována hodnotou $\delta_p = 10 \text{ mm}$. Zpřísněnou hodnotu pro třídu 2 normy [11] nebereme v úvahu, protože není důvod ji použít. Maximální střední chyba měření tedy bude $m_{MET,p} = 2,0 \text{ mm}$ (viz tab. 5.4.)

5.2.2.1. Prostorová polární metoda

Body budou měřeny dvakrát a výsledná hodnota bude určena aritmetickým průměrem měření ze stanovisek 4001 a 4002 (mostárna). Nejméně výhodné konfigurace se nacházejí na bodech 111 a 204, kde střední chyba určení příčné úchyly dosahuje hodnot $m_p = 1,4 \text{ mm}$. Hodnoty příčných odchylek na jednotlivých bodech byly převzaty z výpočtu elips chyb, který je součástí příloh (tab. B.1 – B.4, C.1, C.2.).

5.2.2.2. Metoda záměrné přímky

Pro vyjádření přesnosti měření metodou záměrné přímky je třeba vzít v úvahu více faktorů. Vliv chyby ztotožnění nulového indexu s důlkem na kolejnici, střední chybu z nekolmosti plochy vodorovné stupnice k záměrné přímce a chyby z náklonu stupnice můžeme vzhledem k metodice měření, kdy jsou tyto podmínky nastaveny s dostatečnou přesností obsluhou měřítka (více v kapitole 5.1.2.), zanedbat.

Střední chyba záměrné přímky v určované vodorovné úchyly se určí ze vztahu [48]:

$$m_z = \frac{d \cdot 185^{cc}}{V \cdot \rho^{cc}}, \quad (5.7.)$$

který vyplývá z výrazu pro určení střední chyby z cílení a lze jej nalézt např. v [58]. Označení V znamená zvětšení dalekohledu a d je vodorovná délka záměry.

Chyba z přestření dalekohledu vzniká změnou polohy optické osy dalekohledu v důsledku excentricity zaostřovací čočky. Lze ji vypočítat ze vztahu [38]:

$$m_{př} = \frac{d \cdot m_{př}^{cc}}{2 \cdot \rho^{cc}}, \quad (5.8.)$$

kde $m_{př}^{cc}$ je střední chyba posunu optické osy, v našem případě stanovená jako 3^{cc} , a d je vodorovná délka záměry.

Vzhledem k faktu, že čtení na stupnici je realizováno obsluhou měřítka přímo na pozorovaném bodě, střední chyba čtení na stupnici v našem výpočtu nevystupuje. Lze ovšem uvažovat střední chybu z cílení na terčík měřítka na pozorovaném bodě m_c , která bude vyjádřena identickým vztahem jako střední chyba záměrné přímký v určované vodorovné úchylce.

Výsledná střední chyba bude vyjádřena jako:

$$m_{p,MZP_0} = \sqrt{m_z^2 + m_{př}^2 + m_c^2}. \quad (5.9.)$$

Velikost dílčích středních chyb i celkové příčné chyby v poloze pozorovaného bodu pro nejméně výhodnou předpokládanou konfiguraci, kdy záměrná přímká je stabilizována na vzdálenost 100 m a pozorovaný bod je vzdálen rovněž 100 m od přístroje, uvádí tabulka 5.3.

m_z	1,0 mm
$m_{př}$	0,2 mm
m_c	1,0 mm
m_{p,MZP_0}	1,4 mm

Tab. 5.3. Přesnost měření příčných úchylek jednoho měření MZP

Přesnost příčné úchylky bodu určené aritmetickým průměrem dvou měření bude tedy $m_{p,MZP} = 1,0 \text{ mm}$.

	$T_p \text{ [mm]}$	$\delta_p \text{ [mm]}$	$\delta_{MET,p} \text{ [mm]}$	$m_{MET,p} \text{ [mm]}$	$m_p \text{ [mm]}$
polární metoda	20,0	10,0	4,0	2,0	1,4
MZP	20,0	10,0	4,0	2,0	1,0

Tab. 5.4. Přesnost měření příčných úchylek

5.2.3. Výšková přesnost určovaných bodů

Dovolená úchylka výškové úrovně kolejnice je přísnější v [9], a to $\delta_v = 10 \text{ mm}$. Střední chyba měření tedy nesmí přesáhnout hodnotu $m_v = 2,0 \text{ mm}$, stejně jako v případě příčných úchylek.

5.2.3.1. Trigonometrická metoda

Střední chyba jednoho převýšení změřeného trigonometricky se vypočítá podle vztahu:

$$m_{h,trig_o} = \sqrt{m_d^2 \cdot \cotg^2 z + \frac{m_z^2}{\rho^2} \cdot \frac{d^2}{\sin^4 z}}, \quad (5.10.)$$

kde d je vodorovná délka záměry a z značí zenitový úhel. Pro nejméně výhodnou předpokládanou konfiguraci $z = 101^g$ a $d = 100 \text{ m}$ střední chyba určení převýšení nepřesáhne hodnotu $m_{ho,trig} = 0,5 \text{ mm}$.

Určování výškových poměrů JD je většinou provedeno jako odečtení jednotlivých převýšení od převýšení na nejvyšším bodě dráhy, střední chyba výsledného převýšení na určovaném bodě se tedy vypočte jako:

$$m_{v,trig_o} = m_{h,trig_o} \cdot \sqrt{2}, \quad (5.11.)$$

což v našem případě činí hodnotu $m_{v,trig_o} = 0,7 \text{ mm}$. Hodnota střední chyby výšky bodu vypočtené aritmetickým průměrem dvou měření je pak:

$$m_{v,trig} = \frac{m_{v,trig_o}}{\sqrt{2}}, \quad (5.12.)$$

v našem případě tedy půjde o hodnotu $m_{v,trig} = 0,5 \text{ mm}$.

5.2.3.2. Nivelace

Pro přesnost měření jednoho převýšení nivelací platí vztah [23]:

$$m_{h,niv_o} = \sqrt{2} \cdot m_i, \quad (5.13)$$

kde m_i značí střední chybu jednoho čtení na lati. Hodnota této střední chyby byla určena jako $m_i = 1 \text{ mm}$. Střední chyba jednou měřeného převýšení bude tedy $m_{h,niv_o} = 1,4 \text{ mm}$. Na rozdíl od trigonometricky změřených převýšení (mezi stanoviskem a měřeným bodem), převýšení změřená nivelací znamenají výškový rozdíl mezi dvěma určovanými body a nemusí se od sebe tedy odečítat, jen se

porovnají. Střední chyba výšky bodu určené nivelací aritmetickým průměrem dvou měření bude tedy $m_{v,niv} = 1,0 \text{ mm}$.

5.2.4. Přesnost určení polohy čel nárazek.

Hodnota dovolené úchylky v podélném umístění čel nárazek je v normách [9] i [11] uvedena jako $\delta_n = 10 \text{ mm}$. Střední chyba jejich měření tedy nesmí překročit hodnotu $m_n = 2,0 \text{ mm}$.

Při posuzování kolmosti spojnice nárazek vůči podélným osám kolejnic nás zajímá především střední chyba ve směru těchto podélných os. Ta je maximální, když je určovaný bod přímo ve směru podélné osy kolejnice, na které je postaven přístroj. V terénu jsou body nárazek posunuty mírně dovnitř JD, ale z toho pramenící rozdíl je zanedbatelný. Střední podélná chyba při měření prostorovou polární metodou je totožná se střední chybou měření délek dálkoměru. V našem případě tedy nabývá hodnoty $m_n = 2,2 \text{ mm}$ pro nejméně výhodnou předpokládanou konfiguraci, tedy měření ve směru podélné osy kolejnice na vzdálenost $d = 100 \text{ m}$.

Hodnota střední chyby měření čel nárazek sice mírně přesahuje kritérium odvozené z tolerance geometrického parametru, budeme ji však považovat za vyhovující ze stejného důvodu jako v kapitole 5.2.1.

5.2.5. Shrnutí rozboru přesnosti

Tabulka 5.5. shrnuje požadovanou a teoreticky dosaženou přesnost jednotlivých parametrů.

parametr	upřesnění	δ	m_{MET}	m
rozchod	škvárovna	4,6 mm	0,9 (1,6) mm	1,3 mm
	mostovna	5,1 mm	1,0 (1,8) mm	1,0 mm
příčná poloha	polární metoda	10 mm	2 mm	1,0 mm
	MZP			1,0 mm
výška	trigonometricky	10 mm	2 mm	0,5 mm
	nivelace			1,0 mm
poloha čel nárazek		10 mm	2 mm	2,2 mm

Tab. 5.5. Přesnost měření geometrických parametrů JD jednotlivými metodami

6. KALIBRACE PŘÍSTROJŮ

Před výpočtem dat naměřených totální stanicí a nivelačním přístrojem je potřeba určit systematické vlivy ovlivňující měření a naměřená data o tyto vlivy opravit.

6.1. Fyzikální redukce

Fyzikální redukce měřených délek se podle [41] dělí na tři kategorie:

a) **Oprava ze změny rychlosti šíření elektromagnetického signálu**, která je závislá na fyzikálních vlastnostech prostředí, tzn. teplotě, tlaku a vlhkosti a také na vlnové délce nosných vln. U moderních totálních stanic se vlastnosti prostředí buď nastaví, nebo si je přístroj změří sám vlastními čidly. Přístroj, se kterým bylo měřeno, řeší tuto opravu násobnou složkou opravy měřené délky, kterou počítá ze zadaných hodnot teploty a tlaku.

b) **Oprava ze zakřivení dráhy signálu**, závislá na indexu lomu vzdušných vrstev, kterými signál prochází. Pro vlnové délky světelných dálkoměrů činí tato oprava zhruba 1 mm na 39 km, nebudeme se jí tudíž zabývat.

c) **Přístrojové opravy**, které se dále dělí na opravy konstantní velikosti (součtová konstanta) a opravy úměrné měřené délce. Součtová konstanta je z převážné části způsobena vzdáleností geometrického počátku měřené délky od vertikální osy přístroje a geometrického konce měřené délky od vertikály totožné s centračním mechanismem signálu. Opravy přímo úměrné měřené délce způsobuje převážně nepřesná znalost modulační frekvence, která se může s časem měnit. U dnešních přístrojů je ovšem tato frekvence značně stabilní a oprava nebývá zaváděna. [41]

V této kapitole popíšu způsob zavedení a monitorování oprav ze změny rychlosti šíření elektromagnetického signálu, součtovou konstantou se zabývá kapitola 6.2.

Použitá totální stanice Topcon počítá násobnou složku opravy měřené délky ze zadaných parametrů teploty [$^{\circ}\text{C}$] a tlaku [torr] podle vzorce [60]:

$$K_a = 279,66 - \frac{106,033p}{273,15 + t} \quad (6.1.)$$

Hodnoty tlaku vzduchu byly měřeny v hPa, bylo tedy nejprve nutné přepočítat je na *torr* podle vzorce [61]

$$1 \text{ torr} \approx 133,322 \text{ Pa.} \quad (6.2.)$$

Ze vzorce je patrné, že při zvyšující se teplotě se hodnota násobné složky opravy zvyšuje, při zvyšujícím se tlaku se tato naopak snižuje. V tab. 6.1. jsou uvedeny nastavené hodnoty atmosférických podmínek a dále jejich naměřené dvojice, které znamenají největší odchylky násobné složky od hodnoty vypočtené z parametrů nastavených do přístroje.

	ŠKVÁROVNA			MOSTOVNA		
	Nastavená	Minimální	Maximální	Nastavená	Minimální	Maximální
Teplota [°C]	20,6	20,4	22,7	10,1	7,0	10,8
Tlak [hPa]	981,0	981,0	978,7	991,0	993,0	991,3
Oprava [ppm]	14,1	13,9	16,6	1,4	-2,2	2,1

Tab. 6.1. Násobná část opravy měřených délek vypočtená přístrojem

Korekci ze změny násobné složky opravy měřených délek jsem se rozhodl nezavést ze tří důvodů. Prvním z nich je fakt, že **změna násobné složky v důsledku změny atmosférických podmínek nepřesáhla 3,6 ppm**. Při maximální měřené vzdálenosti menší než 100 m tedy chyba v měřené délce nepřesáhne 0,36 mm, většinou se ovšem této hodnotě ani zdaleka nepřiblíží. Dále nelze přehlédnout, že **odchylka v délce působí většinou buď v podélném směru, nebo ve směru od něj odchýleném o malý úhel**. Málokdy bude tedy působit na počítané parametry (příčná odchylka, rozchod, převýšení) v plném rozsahu, což s přihlédnutím k její velikosti její význam marginalizuje. Proti hovoří i **nemožnost časově propojit údaje měřené totální stanicí a údaje o atmosférických podmínkách**. Zavedení oprav by tedy bylo pouze orientační.

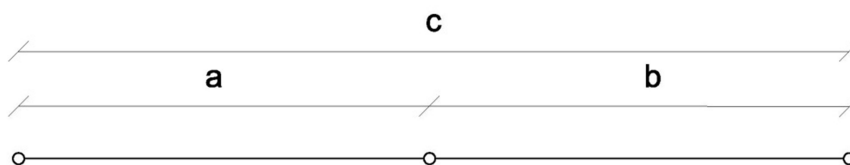
6.2. Určení součtové konstanty dálkoměru

Jako první v rámci kalibračních měření byla určena součtová konstanta dálkoměru (PSM) v kombinaci s daným hranolem. Měření a výpočet PSM a příslušných charakteristik přesnosti proběhli podle [57].

6.2.1. Princip určení a výpočet PSM

Ověření součtové konstanty dálkoměru se provádí na vhodně zvolené základně o třech úsecích a , b a c (viz obr. 6.1.), které realizujeme pomocí tří stativů zařazených do přímky a trojpodstavcové soupravy. Stativy musí být v přibližně stejné výšce a zařazeny do přímky tak, aby výšková odchylka a vybočení neovlivnili určenou PSM. Samotná PSM se vypočítá podle vztahu:

$$PSM = c_i - (a_i + b_i). \quad (6.3.)$$



Obr. 6.1. Určení PSM [57]

Samotné měření proběhlo na chodbě Ústavu informatiky FAST VUT v Brně, ulice Veveří 95, budova B, 4. patro dne 19.10. 2012 od 13.00 do 16.30 hodin. Chodba měří na délku asi 47 m, podle toho byly voleny vzdálenosti jednotlivých úseků. Byly zvoleny tři kombinace vzdáleností $[a; b; c]$, a to $[5\text{ m}; 5\text{ m}; 10\text{ m}]$, $[10\text{ m}; 10\text{ m}; 20\text{ m}]$ a $[20\text{ m}; 20\text{ m}; 40\text{ m}]$.

Délky byly měřeny dvakrát ve dvou polohách protisměrně. Výsledné hodnoty délek byly určeny prostým aritmetickým průměrem.

Do výpočtu byla zavedena také hodnota součtové konstanty určená z měření ke zjištění cyklické chyby, které bylo provedeno 23.11. 2012 (šířeji viz kapitola 6.4.).

6.2.2. Určení charakteristik přesnosti zjištěných PSM

Charakteristiky přesnosti určení PSM se počítaly metodou určení přesnosti měřických dvojic, jak uvádí [57]. Jako první byly zjištěny difference měřických dvojic, tedy rozdíl měřených délek tam a zpět. Střední chyba jednoho měření délky ve dvojici se následně spočítá podle vztahu:

$$m_{d'} = \sqrt{\frac{d_a^2 + d_b^2 + d_c^2}{2n}}, \quad (6.4.)$$

kde n je počet měřených vzdáleností, tedy v našem případě 3. Střední chyba délky měřené ve dvojici se pak vypočítá jako:

$$m_d = \frac{m_{d'}}{\sqrt{2}}, \quad (6.5.)$$

a střední chyba PSM jako:

$$m_{PSM} = m_d \sqrt{3}. \quad (6.6.)$$

délka úseků a / c [m]	PSM [m]	mPSM [m]
5 / 10	-0,0167	0,0004
10 / 20	-0,0148	0,0007
20 / 40	-0,0148	0,0003
výpočet cyklické chyby	-0,0150	0,0007
průměr	-0,0153	0,0003

Tab. 6.2. Určené PSM a jejich střední chyby

Střední chyba konstanty hranolu určené v rámci výpočtu střední chyby se určila jako empirická střední chyba měřených veličin y pro regresní analýzu užitím vyrovňovací přímky [25]:

$$m_{PSM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-2}}, \quad (6.7.)$$

kde opravy v jsou odchylky skutečně naměřené hodnoty PSM včetně cyklické chyby od vyrovňovací přímky $y = -0,0150 \text{ m}$.

Výsledné hodnoty PSM a jejich charakteristik přesnosti jsou uvedeny v tabulce 6.2. Do výpočtu byla zavedena průměrná hodnota součtové konstanty.

6.3. Určení rozdílů měřených délek mezi hranolem a odrazným terčem

V některých případech nelze při měření jeřábových drah totální stanicí použít ke změření vzdáleností odrazný hranol, což se týká zejména měření bodů umístěných na čelech narážek. Pro řádné proměření i těchto problematických míst byly na tyto body nalepeny odrazné štítky Sokkia, nicméně bylo třeba zjistit jejich rozdílovou konstantu vzhledem k použitému hranolu.

Postup určení rozdílové konstanty proběhl přibližně podle normy [18] s několika změnami. Především nebylo využito nucené centrace, postačila pečlivá centrace na stativu. Dále výměna hranolu a terče s nalepeným štítkem nebyla prováděna po každém jednotlivém měření, měřily se nejdříve všechny délky ve dvou polohách na konkrétní vzdálenost na hranol a poté všechny délky ve dvou polohách na štítek. Měřilo se desetkrát ve dvou polohách na hranol a desetkrát ve dvou polohách na štítek.

vzdálenost	konstanta hranol - terč [m]				
s [m]	úhel natočení terče				
	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = +25^\circ$	$\alpha = -25^\circ$	$\alpha = +50^\circ$	$\alpha = -50^\circ$
5	0,0134				
10	0,0168				
15	0,0179				
20	0,0183			0,0180	0,0176
25	0,0187				
30	0,0178				
35	0,0169				
40	0,0162				
45	0,0159	0,0159	0,0159		

Tab. 6.3. Určené rozdílové konstanty odrazného terče

Měření proběhla na chodbě ve 4. patře budovy B FAST VUT, obdobně jako zjišťování PSM a to ve dnech 25.10. 2012 od 13.30 do 18.45 hodin a 30.10. 2012 od 12.30 do 16.30 hodin. Byly proměřeny vzdálenosti od 5 do 45 m v intervalu po 5 metrech. Na všechny měřené vzdálenosti byla určena součtová konstanta mezi odrazným štítkem bez natočení a hranolem. Vzhledem ke konkrétním potřebám toho času jediné zaměřené JD (spalovna) byly navíc zjištěny součtové konstanty pod natočením 50° doleva i doprava na vzdálenost 20 m a 25° doleva i doprava na vzdálenost 45 m. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 6.3. Pro potřeby výpočtu

souřadnic bodů byly součtové konstanty pro konkrétní vzdálenosti interpolovány nebo extrapolovány.

6.4. Určení cyklické chyby dálkoměru

Určování geometrických parametrů jeřábových drah je práce velice přesná a o doporučení k rektifikaci můžou rozhodovat i desetiny milimetru. Z toho důvodu bylo přikročeno i k eliminaci vlivu cyklické chyby na naměřená data. Cyklická chyba je systematická chyba, která se objevuje jako periodická funkce jednotkové délky, obecně způsobená elektronickými nebo optickými poruchami přijímací stanice [17].

Ke zjištění cyklické chyby byly využity postupy z normy [17], které byly ovšem výrazně modifikovány. Namísto stabilizace bodů a jejich proměření nejdříve pásmem přesnou metodou a posléze totální stanicí bylo pásmo napnuto na zemi napínací silou uvedenou v kalibračním listu a hranol byl centrován přímo na délky pásma.

Bylo použito kalibrované ocelové pásmo BMI Ergoline 30 m, napnutí silou $F = 50 \text{ N}$ bylo realizováno siloměrem. Jednotková vlnová délka přístroje je $\lambda_o = 5 \text{ m}$ [59], jako postačující interval měření byl zvolen interval $I = 1 \text{ m}$. Délky byly měřeny třikrát ve dvou polohách na hranol Nikon a poté třikrát ve dvou polohách na odrazný štítek Sokkia. Měření proběhlo na stejné chodbě jako měření PSM a součtových konstant ve dvou etapách, a to 23.11.2012 a 30.11.2012. V prvním termínu byly měřeny délky od 1 m do 29 m, ve druhém termínu byly měřeny délky zhruba od 15 m do 45 m.

Ke zpracování výsledků bylo nejprve potřeba opravit nominální hodnoty délky pásma $s_{n(i)}$ o příslušné úchyly naměřené během kalibrace k_i , které jsou uvedeny v kalibračním listu podle vztahu

$$\overline{s_{p(i)}} = s_{n(i)} + k_i, i = 0, 1, 2 \dots 29. \quad (6.8.)$$

Pro měření provedená v prvním termínu bylo třeba přepočítat tyto opravené délky tak, aby odpovídaly skutečné konfiguraci měření – přístroj byl centrován na rysku

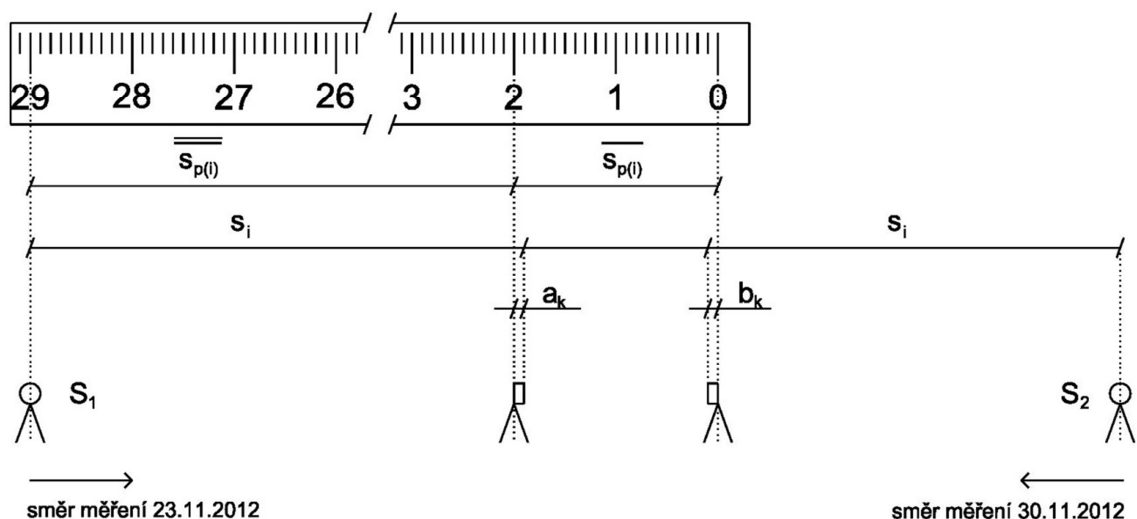
s nominální hodnotou 29,000 m a signál byl centrován postupně v opačném gardu směrem k nule. Úprava proběhla podle vztahu

$$\overline{s_{p(i)}} = \overline{s_{p(29)}} - \overline{s_{p(29-i)}}, i = 0,1,2 \dots 29. \quad (6.9.)$$

Získané skutečné vzdálenosti úseků pásma bylo třeba dále opravit o vliv teplotní roztažnosti podle vztahu

$$s_{p(i)} = \overline{s_{p(i)}} + \overline{s_{p(i)}}(t - t_k)\alpha, i = 0,1,2 \dots 29, \quad (6.10.)$$

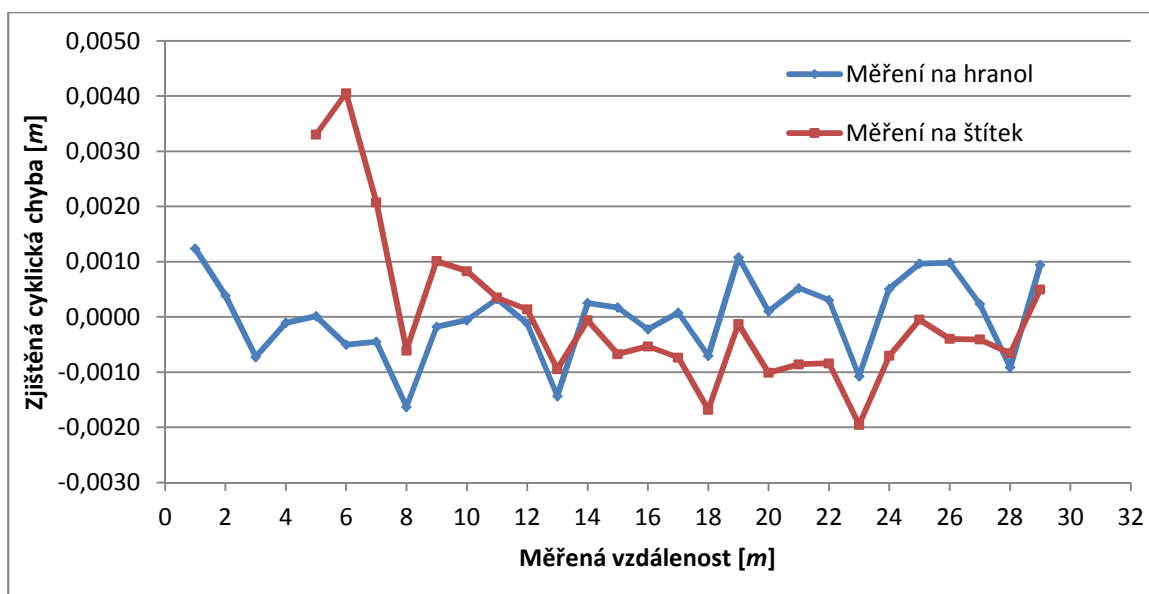
kde t je naměřená teplota pásma při měření, t_k je teplota pásma při kalibraci a α je koeficient teplotní roztažnosti oceli.



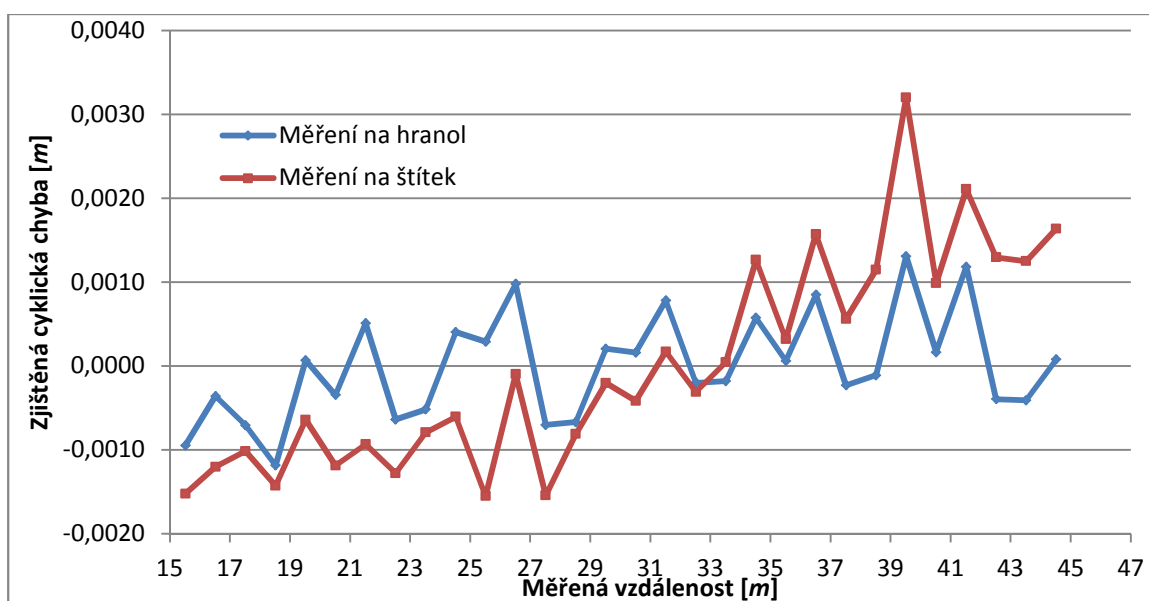
Obr. 6.2. Schéma měření cyklické chyby

Dále byly zjištěny rozdíly r_i mezi naměřenou délkou s_i a skutečnou vzdáleností mezi dílky pásma na kterých byly centrovány stroj a signál $s_{p(i)}$. Pro první etapu měření provedenou 23. 11. 2012 byly určeny konstanty a_k , vypočítané jako aritmetický průměr všech rozdílů r_i pro daný typ signalizačního zařízení ($k = 1,2$; 1 pro hranol a 2 pro odrazný štítek). Obdobně byly vypočítány i konstanty b_k pro druhou etapu měření z 30. 11. 2012 s tím, že naměřené délky s_i byly před výpočtem opraveny o příslušné konstanty a_1 nebo a_2 . Cyklická chyba c_i pak vznikne odečtením těchto konstant od rozdílů r_i , ze kterých byly počítány. Konstanta a_1 byla

využita také jako součtová konstanta dálkoměru v kapitole 6.1. Výsledky jsou znázorněny v grafech 6.1, 6.2 a 6.3.

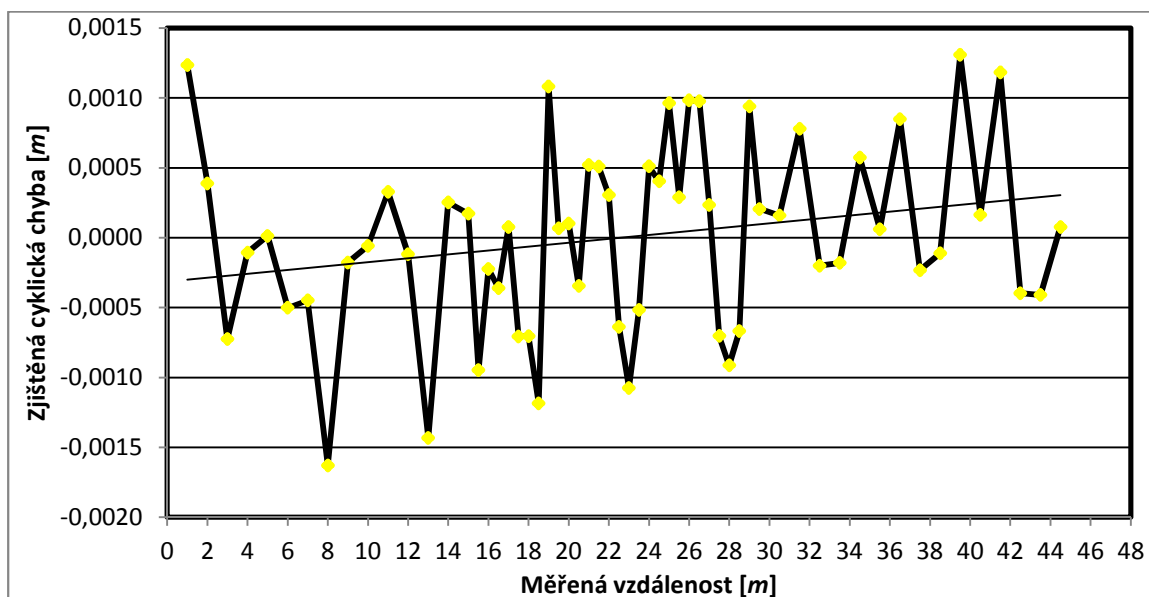


Graf 6.1. Závislost cyklické chyby na měřené délce při měření v 1. etapě



Graf 6.2. Závislost cyklické chyby na měřené délce při měření ve 2. etapě

Z prvních dvou grafů jasně vyplývá, že hodnoty naměřené na jednotlivá signalizační zařízení spolu korespondují. Výjimku tvoří měřená vzdálenost od 5 do 7 m, kde se hodnoty měřené na hranol a odrazný štítek poměrně razantně odchylují. To je pravděpodobně způsobeno nespolehlivostí měření na odrazný štítek na krátké vzdálenosti. Vzdálenost pod 5 m na odrazný štítek ani nebylo možné změřit. Do zpracování se zavedou cyklické chyby zjištěné z měření na hranol.



Graf 6.3. Závislost cyklické chyby na měřené délce – celkový pohled

Z grafu 6.3. je pak jasně viditelné, jaký trend mají naměřené hodnoty. Obzvláště v první polovině grafu je patrné, že od vzdálenosti 3 m mají hodnoty v intervalu 5 m jasné minimum. S přibývajícím vzdáleností již začíná být toto minimum méně jasné a hodnoty cyklické chyby nabývají vzestupný trend. To je pravděpodobně způsobeno nesprávnou napínací silou pásma při měření.

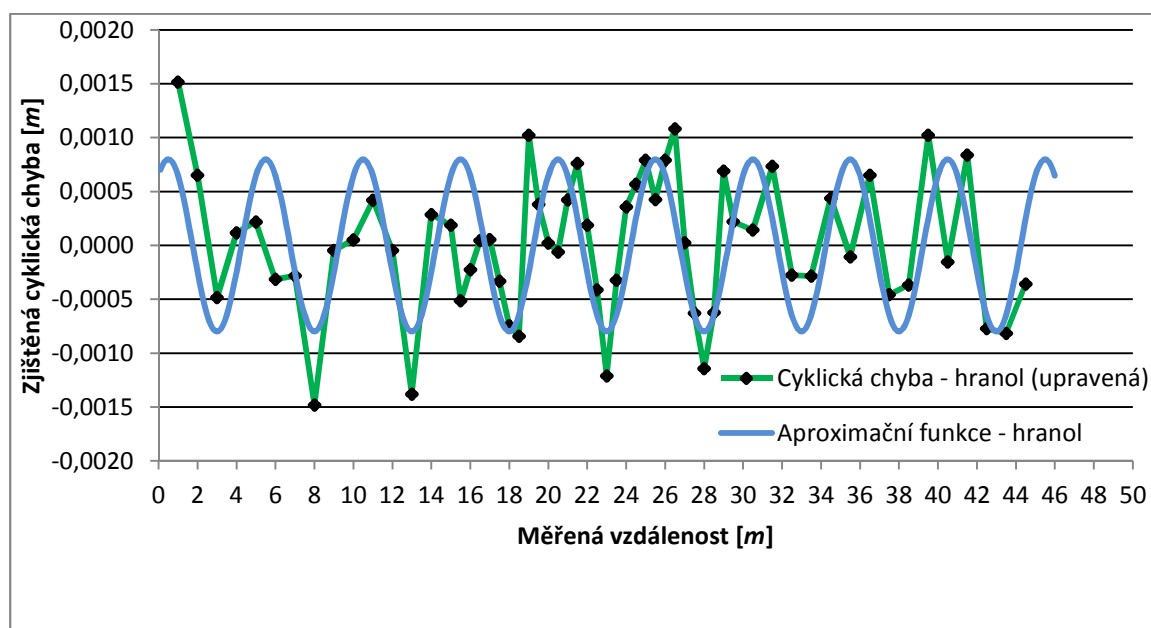
Do zpracování byly proto zavedeny upravené hodnoty cyklické chyby, které oscilují kolem střední hodnoty určené jako hodnota konstanty a_1 , vypočítaná z měření provedeného dne 23.11. 2012 a jejich hodnotu pro libovolnou vzdálenost lze určit z výpočtem z jednoduché aproximační funkce. Ta byla určena následujícím postupem:

V programu Microsoft Excel byl metodou regresní analýzy zjištěn zápis lineární funkce proložené naměřenými daty a tato data byla následně opravena o hodnotu zjištěné funkce pro danou vzdálenost. Tímto krokem byla odstraněna vzestupná tendence dat.

Dalším krokem bylo zjištění extrémních funkčních hodnot pro každou periodu a určení amplitudy aproximační funkce aritmetickým průměrem absolutních hodnot zjištěných extrémů. Podle vlastností goniometrických funkcí pak byla snadno určena výsledná aproximační funkce ve tvaru:

$$c_i = 0,0008 \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{5} \cdot (s_i + 0,75) \right]. \quad (6.11.)$$

Průběh cyklické chyby po odečtení vzestupného trendu a aproximační funkce cyklické chyby pro měření na hranol ukazuje graf 6.4. Vypočítané hodnoty mají charakter odchylky, od měřených vzdáleností budou tedy odečteny.



Graf 6.4. Upravené hodnoty cyklické chyby a aproximační funkce (hranol)

U měření údajů pro kapitoly 6.2., 6.3. a 6.4. byly sledovány také teplota, tlak a vlhkost prostředí. Na začátku měření byly zjištěné údaje o teplotě a tlaku zadány do totální stanice a měřené délky byly na jejich základě automaticky opravovány o příslušné korekce (viz kap. 6.1.). Měřidla byla dále sledována, ale na uzavřené chodbě se podmínky měnily pouze minimálně, nebylo tedy nutné přikročit k dodatečným korekcím. Číselné hodnoty cyklické chyby zjištěné v jednotlivých etapách měření jsou uvedeny v příloze A.

6.5. Zkouška nivelačního přístroje a určení opravy z nevdorovnosti záměrné přímky

Při měření výškových poměrů JD nelze dodržet zásadu stejné délky záměr vzad a vpřed. Vzhledem k vysoké přesnosti prací je nutné vyloučit z výpočtu vliv

nevodorovnosti záměrné přímky. Ten lze určit mj. dle normy [14], my jsme ale zvolili jednodušší postup, tzv. zkoušku nivelačního přístroje [43].

Přístroj se umístí uprostřed mezi body A a B a určí se jejich převýšení h_{ab} , které není ovlivněno přístrojovou vadou. Následně se přístroj postaví co nejblíže za bod B (s ohledem na zaostřovací vzdálenost) a přečtou se laťové úseky c a d , které jsou chybou ovlivněny. Podle obr. 6.3. platí:

$$h_{ab} = a - b; h_{cd} = c - d. \quad (6.12.)$$

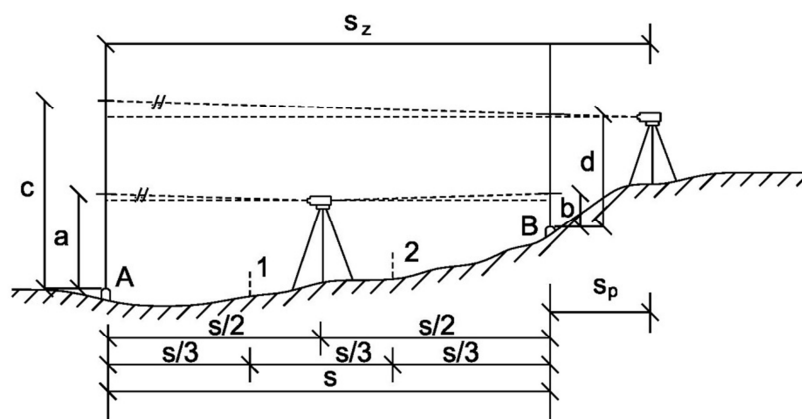
Oprava o a oprava pro jeden metr délky o_m se potom vypočítají:

$$o = h_{ab} - h_{cd} \quad (6.13.)$$

$$o_m = \frac{o}{\Delta s}, \quad (6.14.)$$

kde Δs je rozdíl délek záměry vzad a vpřed. Oprava pro určovaný bod P_i se vypočítá:

$$o_i = o_m \cdot \Delta s_i; \Delta s_i = s_{zi} - s_{pi}. \quad (6.15.)$$



Obr. 6.3. Zkouška nivelačního přístroje [43]

Je také možno přístroj postavit do 1/3 (čtení a , b) a 2/3 (čtení c , d) vzdálenosti mezi body A a B. Oprava pro jeden metr délky se pak vypočítá:

$$o_m = \frac{3 \cdot (h_{ab} - h_{cd})}{2s}. \quad (6.16.)$$

Praktické měření proběhlo dne 12. 3. 2013 na dvoře areálu FAST VUT v Brně na ulici Veveří. Zkouška byla provedena celkem čtyřikrát a to dvakrát na vzdálenost bodů A a B 12 m (jednou s postavením stroje uprostřed mezi latěmi a těsně za jednou z nich a podruhé v jedné a dvou třetinách jejich vzdálenosti) a dvakrát na vzdálenost bodů 20,5 m (při shodné kombinaci variant jako v předešlém případě). Výsledky zkoušky jsou uvedeny v Tab. 5.3. a byly zavedeny do údajů naměřených nivelačním přístrojem.

s [m]	konfigurace	o_m [mm/m]
12,0	1/2 - za latí	-0,167
12,0	1/3 - 2/3	-0,125
20,5	1/2 - za latí	-0,146
20,5	1/3 - 2/3	-0,073
průměrná oprava		-0,128

Tab. 6.4. Zjištěné korekce vlivu sklonu záměrné přímky nivelačního přístroje

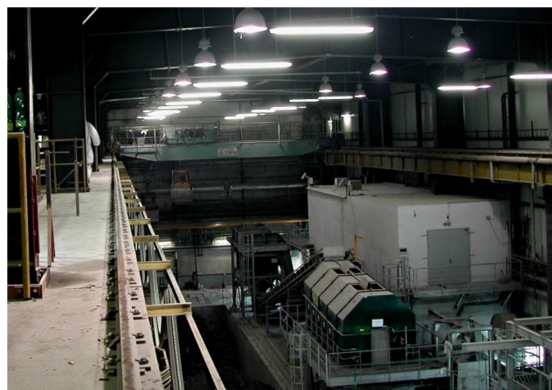
7. PRAKTICKÉ MĚŘENÍ – ŠKVÁROVNA, SPALOVNA BRNO

7.1. Popis jeřábové dráhy

Nová brněnská spalovna byla spuštěna v roce 1989. Během celé doby provozu dochází ke zvyšování ekologických parametrů spalovny, které vede ke snižování množství emisí sledovaných škodlivin do ovzduší. Po rozsáhlé rekonstrukci v letech 2008 až 2010 je brněnská spalovna nejen nejmodernější v ČR, ale zařadila se také mezi nejmodernější spalovny v celé Evropě. V nově instalovaných kotlech lze spálit až 220 000 tun odpadu ročně a získaná energie je využita pro dodávky tepla a elektrické energie. Vyprodukovaná škvára je zpracována ve stavebním průmyslu. [31],[52]



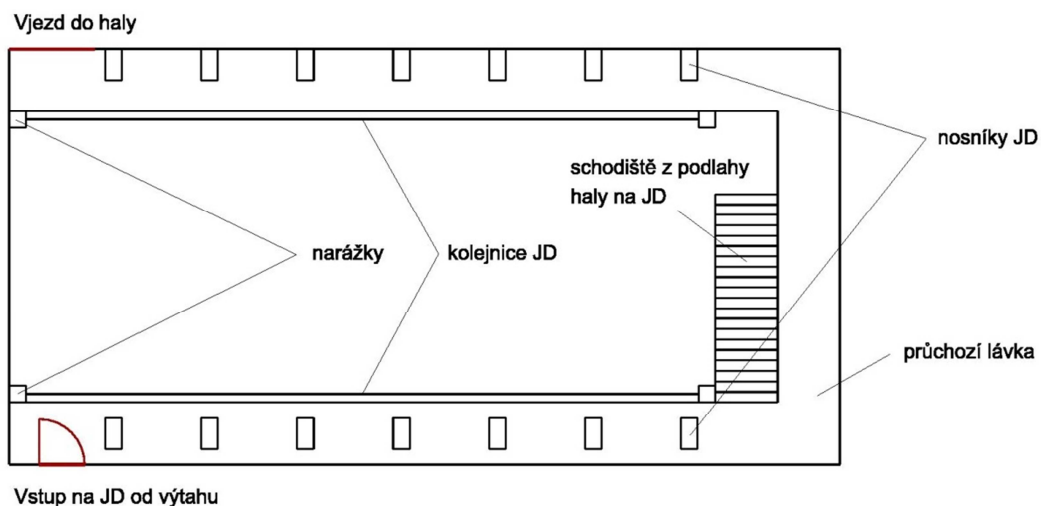
Obr. 7.1. Spalovna [21]



Obr. 7.2. Jeřábová dráha - škvárovna

Objektem měření byla jeřábová dráha ve škvárovně, nacházející se v areálu spalovny v ulici Jedovnická v Brně. Nebyly k dispozici ani projektová dokumentace, ani dokumentace skutečného provedení stavby či předchozích měření JD. Potřebné údaje byly proto získány z diplomové práce [20], jejímž obsahem je mj. popis měřené JD. Délka JD je 71,8 m, výška 16,0 m nad úrovní podlahy a projektovaný rozchod 16,500 m. Po dráze pojíždějí dva jeřábové mosty, každý z nich má nosnost 8000 kg.

Jeřábová dráha je opatřena průchozími lávkami na třech stranách haly, není tedy nutné přecházet mezi větvemi JD po jeřábovém mostu. Trolejové vedení je upevněno na konzolách na vnitřní větvi JD. Situace v hale je znázorněna na obr. 7.3.



Obr. 7.3. Schematické znázornění JD ve škvárovně

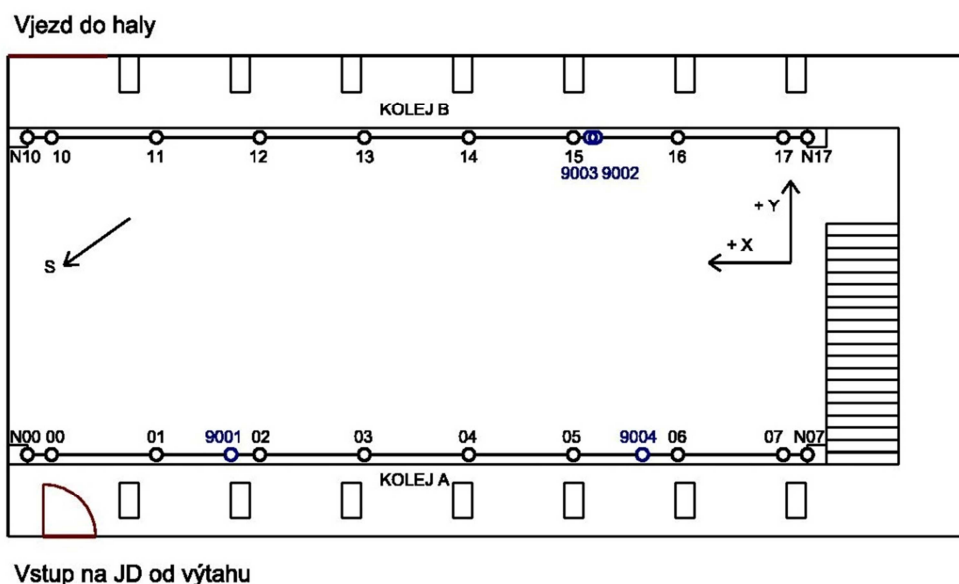
7.2. Volba metod

Účelem měření jeřábové dráhy bylo určit její směrové a výškové poměry a kolmost spojnice čel nárazek k podélné ose JD. Při volbě měřických metod bylo přihlíženo zejména k požadované přesnosti měření, dostupnému vybavení, přístupnosti jeřábové dráhy a bezpečnosti práce. Na této JD hrála svou roli také rychlost měření a z ní vyplývající doba odstávky. Vzhledem k výše uvedeným faktorům bylo přikročeno k využití prostorové polární metody s postavením přímo na kolejnici pomocí upínací desky.

7.3. Postup měření

Měření ve škvárovně brněnské spalovny proběhlo dne 3. června 2012 od 9.30 do 14.00 hodin a bylo provedeno měřickou skupinou ve složení M. Příhoda, A. Vitula a J. Bureš.

Jako první obsluha jeřábu odstavila mosty do krajní polohy a vypnula elektřinu v napájecí troleji. Poté mohla být provedena signalizace bodů nad středy podpor a na koncích kolejnic středními nůžkami s důlčkem a jejich zvýraznění křídou. Body na čelech nárazek byly označeny nalepovacími odraznými štítky Sokkia. Po vykonání veškerých přípravných úkonů byly proměřeny viditelné podrobné body ze stanovisek 9001 a 9002 (00 – 05; 10 – 15, a body nárazek N00, N10). Měření probíhalo v jedné skupině.



Obr. 7.4. Rozmístění bodů na JD ve spalovně a orientace os

Po přesunutí jeřábových mostů do opačné krajní polohy a signalizaci zbylých bodů JD bylo dále měřeno ze stanovisek 9003 a 9004 (body 02 – 07, 12 – 17, body narážek N07, N17). Zatímco stanoviště 9003 na koleji B bylo voleno přibližně ve stejné poloze jako stanoviště 9002 při prvním měření, stanoviště 9004 na koleji A bylo zvoleno na opačném konci JD kvůli lepším vlastnostem měření na odrazné štítky na narážkách z bližších vzdáleností. Schéma rozmístění bodů na JD ve škvárovně je zobrazeno na obr. 7.4.

7.4. Příprava dat pro výpočet

Před vstupem do výpočtu je potřeba mírně upravit elektronický zápisník tak, aby výpočet proběhl bez problémů a také aby se v získaných datech dobře orientovalo.

V první řadě bylo třeba přechíslovat měřené body. Bodům měřeným ze stanoviště 9001 byla přidána před číslo bodu číslice „1“, totéž analogicky bylo provedeno i pro body měřené z ostatních stanovisek.

Kolimační a indexová chyba byla odstraněna v softwaru Groma v. 8.0, ve kterém probíhala i většina ostatních výpočtů. Byla využita funkce „Měření => Zpracování zápisníku => Zpracovat měření v obou polohách“. Pro zpracování opakovaných měření byla použita funkce „Měření => Zpracování zápisníku => Zpracovat opakovaná měření“.

Délky byly měřeny bez nastavení konstanty hranolu. Před výpočtem bylo tedy potřeba opravit délky o konstantu hranolu (kap. 6.2.) a cyklickou chybu (kap. 6.4.), délky měřené na odrazné štítky na narážkách byly navíc redukovány o rozdílovou konstantu mezi hranolem a terčem (kap. 6.3.). Její hodnoty byly buď interpolovány nebo extrapolovány z dat zjištěných v rámci kap. 6.3.

7.5. Výpočet souřadnic z naměřených dat

Rovinné souřadnice byly vypočítány pro každé stanoviště nezávisle ve zvolené místní souřadnicové soustavě s orientací na body 05 (9001), 12 (9002), 12 (9003) a 02 (9004). Výpočet byl proveden v softwaru Groma v. 8.0 funkcí „Polární metoda“. Orientace os souřadnicového systému po výsledné transformaci je patrná z obr. 7.4.

Dále byl přístup k získaným datům dvojitý:

- a) **výpočet směrového průběhu a rozchodu JD v každém souřadném systému zvlášť** a následné provedení aritmetického průměru;
- b) **sjednání souřadných systémů shodnostní transformací** a následný výpočet směrového průběhu a rozchodu JD.

Transformace byla provedena v programu XYZtrans [48] Doc. Štronera z katedry speciální geodézie ČVUT. Body měřené ze stanoviště 9003 byly transformovány do souřadnicové soustavy bodů měřených ze stanoviště 9002 s využitím bodů 12, 14 a 15 pro vytvoření transformačního klíče. Důvodem byly nízké hodnoty střední chyby v souřadnici „Y“ na těchto bodech, vyplývající z postavení stanoviště. Ze stejného důvodu byly pro transformaci bodů měřených ze stanoviště 9004 do souřadnicové soustavy bodů měřených ze stanoviště 9001 využity body 02, 04 a 05. Takto vytvořené dvojice souřadnic bodů byly zprůměrovány (body měřené ze stanovišť 9001/9004 a 9002/9003). Nakonec byly zprůměrované souřadnice v systému s počátkem v bodě 9001 transformovány do soustavy bodů měřených ze stanoviště 9002, k tvorbě transformačního klíče byly využity body 2, 4 a 13. Transformační protokoly jsou součástí příloh.

Data pro posouzení výškového průběhu byla získána přímo v zápisníku a to funkcí „Měření => Zpracování zápisníku => Vypočítat převýšení“. Problém nastal při

přepočítávání měření z obou stanovisek do stejné vztažné roviny, které je obvykle určena úrovní nejvyššího bodu dráhy. V našem případě se jedná o bod 16, který byl zaměřen pouze ze stanovisek 9003 a 9004. Měření tedy musela být přepočítána do roviny určené bodem 05, která byla následně odsazena tak, aby se počátek nacházel v bodě 16.

Přepočet dvou různých měření do roviny jednoho měřeného bodu je principiálně problematický krok, protože měření tohoto konkrétního bodu z obou stanovisek může být zatíženo náhodnými chybami tak, že významně ovlivní vzájemnou polohu párových měření. Byla proto provedena optimalizace polohy vztažné výškové roviny pro všechna měření vykonaná ze stanoviště 9001 (posun výškových souřadnic všech měřených bodů o $-0,3 \text{ mm}$) a 9002 (posun výškových souřadnic všech měřených bodů o $-0,7 \text{ mm}$). Vypočítané difference mezi výškovými souřadnicemi bodů z měření ze všech stanovisek po této úpravě mnohem více odpovídají náhodnému rozdělení.

7.6. Posouzení geometrických parametrů dráhy

Rozchody dráhy byly získány odečtením souřadnic „Y“ v rámci jednotlivých profilů. Ve většině případů byly k dispozici čtyři hodnoty rozchodu, získané z rozdílné konfigurace měření. Do zpracování vstupovaly pouze rozchody s co možná nejmenšími středními chybami. Bylo rovněž nezbytné ověřit, zda výsledky nejsou zatíženy hrubými chybami. Vypočítal se proto rozdíl nejvyšší a nejnižší hodnoty daného rozchodu a následně byl porovnán s jeho mezní hodnotou určenou ze středních chyb dotčených hodnot rozchodu.

Příčné úchyly byly počítány pouze z hodnot získaných měřením s postavením stroje na stejné kolejnici jako určovaný bod. Kde to bylo možné, byly posouzeny mezní rozdíly hodnot příčných úchylek právě z těchto měření. Pokud nebyla k dispozici vhodná měření, ke kontrole byly využity alespoň hodnoty určené měřením z protilehlé koleje.

Směrový průběh byl zpracován ve dvou variantách. První varianta vycházela ze zpracování měření z každého stanoviště v samostatném souřadnicovém systému. Vstoupily do ní pouze rozchody vybrané z měření s malými středními chybami a příčné úchyly jen z měření se stanovištěm na stejné kolejnici jako určovaný bod.

Vzhledem k nevyhnutelným měřickým chybám bylo nutno data sladit tak, aby si rozchody a příčné úchyly navzájem odpovídaly. Princip tohoto úkonu je popsán níže.

Do druhé varianty vstoupily rozchody a příčné úchyly vypočítané ze souřadnic získaných transformací popsanou v kap. 7.5. Vzhledem k principu jejich výpočtu si tato data navzájem odpovídají a není třeba je dále upravovat.

Výškový průběh dráhy byl určen aritmetickým průměrem všech naměřených hodnot. Data nebyla selektována, protože horizontální konfigurace měření v tomto případě nehraje tak zásadní roli jako u příčných úchylek a rozchodů a její vliv na výsledky měření je podstatně menší. Přesnost měření byla ověřena porovnáním rozdílu dvou vzájemně nejvíce odlehlých hodnot jedné výškové úrovně s jeho mezní hodnotou.

Kolmost spojnice čel narážek na podélnou osu JD byla posouzena porovnáním rozdílu souřadnic „X“ bodů odpovídajících si narážek s mezní hodnotou, danou normami.

7.6.1. Porovnání rozdílů naměřených hodnot s mezními rozdíly

Mezní hodnoty rozdílů d_{x_i} hodnot jednotlivých geometrických parametrů x_i byly vypočítány vztahem:

$$\delta_{d_{x_i}} = 2 \cdot \sqrt{(m_{x_i}^I)^2 + (m_{x_i}^{II})^2}, \quad (7.1.)$$

kde $m_{x_i}^I$ a $m_{x_i}^{II}$ jsou střední chyby určení geometrického parametru x_i z prvního a druhého měření.

Střední chyba aritmetického průměru byla určena vztahem (5.5.).

Aposteriorní odhad střední chyby jednoho měření z dvojic měření byl vypočítán vztahem [25]:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d^2}{2n}}. \quad (7.2.)$$

V případě, že jsou k vyhodnocení daného parametru k dispozici hodnoty z měření ze všech čtyř stanovisek, za měřické dvojice pro výpočet aposteriorní střední chyby jsou považovány hodnoty před přejezdem jeřábu (stanoviska 9001 a 9002) a po přejezdu jeřábu (stanoviska 9003 a 9004). Tento odhad je následně porovnán s apriorní přesností.

7.6.1.1. Porovnání rozdílů naměřených rozchodů s mezními rozdíly

Porovnání rozdílů nejvyšší a nejnižší hodnoty měřených rozchodů s mezními hodnotami těchto rozdílů je uvedeno v tabulce B.5. příloh. Vypočítané rozdíly vyhovují mezní hodnotě ve všech případech vyjma profilu č. 3. Do zpracování byly v tomto případě přejaty pouze tučně zvýrazněné hodnoty, jedna z odlehlých hodnot tedy byla vyřazena z výpočtu.

Střední chyby rozchodů byly počítány podle vztahu (5.4.). Odhad aposteriorní střední chyby jednou měřeného rozchodu vypočítaný podle vzorce (7.2.) dosahuje hodnoty $m_{r_o} = 0,9 \text{ mm}$, zatímco maximální střední chyba měření rozchodu určeného aritmetickým průměrem dvou měření, zjištěná rozбором přesnosti po uvolnění kritérií (viz kap. 5.2.1.), je $m_{MET,r} = 1,6 \text{ mm}$. Přesnost měření tedy plně vyhovuje.

7.6.1.2. Porovnání rozdílů naměřených příčných úchylek s mezními rozdíly

Porovnání rozdílů **příčných úchylek** s mezními hodnotami těchto rozdílů, vypočítanými podle vztahu (7.1.), je uvedeno v tabulce B.8. příloh. Rozdíly v některých případech nevyhovují vypočítaným kritériím, to je ovšem způsobeno tím, že střední chyby byly vypočítány pouze z přístrojových parametrů. V našem případě vstupují další vlivy (přesnost cílení, přesnost bodů přímky, ke které jsou úchyly vztaženy) a rozdíly úchylek nejsou nijak dramatické, považujeme je tudíž za vyhovující.

Střední chyby příčných úchylek byly převzaty z výpočtu parametrů elips chyb, který je taktéž součástí příloh (tab. B.1. - B.4.). Odhad aposteriorní střední chyby jednou měřené příčné úchyly vypočítaný podle vzorce (7.2.) dosahuje hodnoty $m_{p_o} = 0,6 \text{ mm}$, zatímco maximální střední chyba měření příčných úchylek

určených aritmetickým průměrem dvou měření, zjištěná rozbořem přesnosti, je $m_{MET,p} = 2,0 \text{ mm}$. Přesnost měření tedy vyhovuje.

7.6.1.3. Porovnání rozdílů naměřených výšek s mezními rozdíly

Porovnání rozdílů **výškových úrovní** s mezními hodnotami těchto rozdílů, vypočítanými podle vztahu (7.1.), je uvedeno v tabulce B.11. příloh. Rozdíly sice nevyhovují mezním hodnotám v několika případech, u trigonometrické metody ovšem musíme brát v úvahu, že stejně jako v případě příčných úchylek přesnost měření v tomto případě výrazně ovlivňují i další faktory, jako např. chyba ze zacílení na střed hranolu či volba vztažné roviny. Vzhledem k aposteriorní střední chybě vypočítané z měřických dvojic budeme měření považovat za vyhovující.

Střední chyby trigonometricky určených výšek byly vypočítány podle vztahu (5.11.) a jsou k dispozici v tab. B.10. příloh. Odhad aposteriorní střední chyby jednou měřené výškové úrovně vypočítaný podle vzorce (7.2.) dosahuje hodnoty $m_{v_o} = 0,5 \text{ mm}$, zatímco maximální střední chyba měření výškových úrovní určených aritmetickým průměrem dvou měření, zjištěná rozbořem přesnosti, je $m_{MET,p} = 2,0 \text{ mm}$. Přesnost měření tedy vyhovuje.

7.6.2. Porovnání zjištěných geometrických parametrů s platnými normami

7.6.2.1. Směrový průběh a rozchody – Varianta A

Do varianty A tedy vstoupily rozchody vyselektované podle středních chyb (tab. B.5., B.6. příloh) a příčné úchytky kolejnic měřené ze stanoviska umístěného na stejné koleji jako určovaný bod (tab. B.8., B.9. příloh). Jak již bylo řečeno, tyto parametry se musí vzájemně synchronizovat následujícím postupem.

Nejprve je třeba zvolit hodnotu rozchodu po rektifikaci dráhy, v našem případě $r^o = 16,505 \text{ m}$. Rozchody určené výpočtem ze souřadnic (tab. B.6. příloh) jsou považovány za měřený rozchod $r_{i,měř}$. Značení postupu odpovídá kapitole 3.5.1. Následně se zjistí počítané rozchody jako:

$$r_{i,poc} = r^o + o_i^P - o_i^L. \quad (7.3.)$$

Rozdíly počítaných a měřených rozchodů se vypočítají:

$$d_r = r_{i,poc} - r_{i,měř}. \quad (7.4.)$$

Rozdíl měřených a počítaných rozchodů se rozdělí mezi dotčené veličiny následovně:

$$r_{i,red} = r_i + \frac{d_r}{3}; \quad (7.5.)$$

$$o_{i,red}^L = o_i^L + \frac{d_r}{3}; \quad (7.6.)$$

$$o_{i,red}^P = o_i^P - \frac{d_r}{3}. \quad (7.7.)$$

Pokud výpočet proběhl správně, musí platit:

$$r_{i,red} = r^o + o_{i,red}^P - o_{i,red}^L. \quad (7.8.)$$

Nyní, když data jsou sladěna, je možno přistoupit k optimalizaci polohy vztažných přímk a porovnání geometrických parametrů s mezními hodnotami.

MEZNÍ ÚCHYLKY ROZCHODŮ A PŘÍČNÉ [mm]				
	ČSN 73 5130		ČSN EN 1090-2	
	ROZCHOD	PŘÍČNÁ	ROZCHOD	PŘÍČNÁ
δ_x	4,6	10	10,2	10
$1,2 \cdot \delta_x$	5,6	12	-	-

Tab. 7.1. Spalovna - mezní úchyly rozchodů a mezní příčné úchyly

Tabulka 7.1. uvádí mezní úchyly rozchodů od vztažné hodnoty a mezní příčné úchyly dle platných norem ČSN 73 5130 [9] ČSN EN 1090-2 [11]. Posouzení proběhlo dle tučně zvýrazněných hodnot, tedy v případě normy [9] s hodnotou $1,2 \cdot \delta_x$, která je určena pro jeřábové dráhy v provozu.

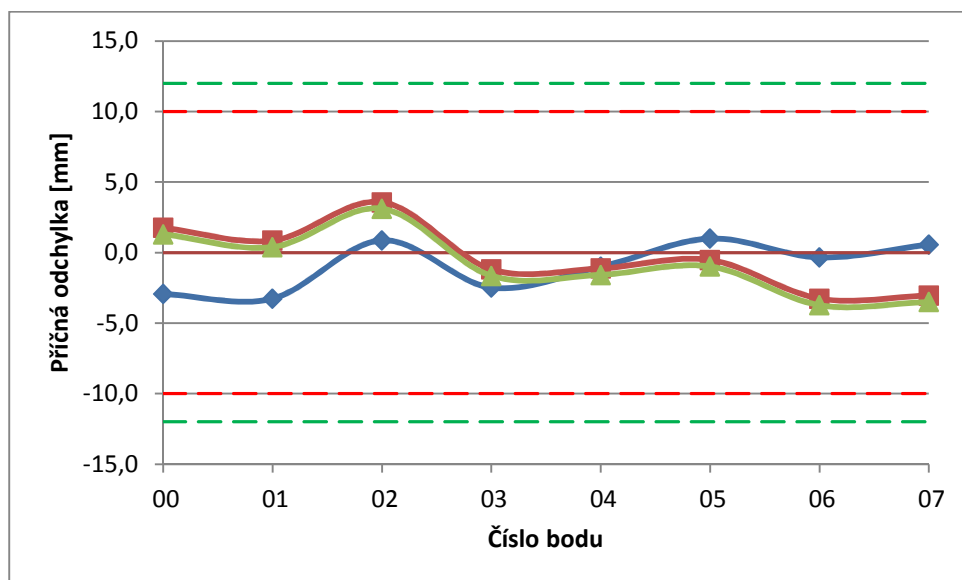
Tabulka 7.2. uvádí rozchody a příčné úchyly (modrou čarou v grafech 7.1. a 7.2.) varianty A. Původní příčné úchyly byly vztaženy ke spojnici bodů 02-05 odsazené o +1,0 mm (kolej A) a k rovnoběžce s touto přímkou ve vzdálenosti $r^o = 16,5050 \text{ m}$. Tabulka dále uvádí příčné úchyly po posunutí a natočení

vztažných přímk podle modelu vyrovnání Novák – Šrom (červenou čarou v grafech 7.1. a 7.2., kap. 5.3.1.) $o_{N\dot{S}}^L$ a $o_{N\dot{S}}^P$ a modelu Lukáč – Kopáček (zelenou čarou v grafech 7.1. a 7.2., kap. 5.3.2.) o_{LK}^L a o_{LK}^P . Souřadnicový systém je orientován dle obr. 7.4., osa „X“ je vložena do koleje B. Úchyly na koleji A jsou tedy značeny jako o^L , úchyly na koleji B jako o^P .

ROZCHODY A SMĚROVÉ POMĚRY - VARIANTA A							
Č.P.	r [m]	o^L [mm]	$o_{N\dot{S}}^L$ [mm]	o_{LK}^L [mm]	o^P [mm]	$o_{N\dot{S}}^P$ [mm]	o_{LK}^P [mm]
0	16,5013	-2,9	1,8	1,3	-6,7	-2,0	-2,4
1	16,5006	-3,3	0,9	0,4	-7,7	-3,6	-4,0
2	16,5017	0,9	3,6	3,1	-2,5	0,2	-0,2
3	16,5103	-2,5	-1,2	-1,6	2,8	4,1	3,6
4	16,5086	-1,0	-1,1	-1,6	2,6	2,5	2,1
5	16,5099	1,0	-0,5	-1,0	5,9	4,4	3,9
6	16,5150	-0,3	-3,3	-3,7	9,7	6,8	6,3
7	16,5059	0,6	-3,0	-3,5	1,5	-2,1	-2,6

Tab. 7.2. Spalovna – varianta A – rozchody a příčné úchyly kolejnic

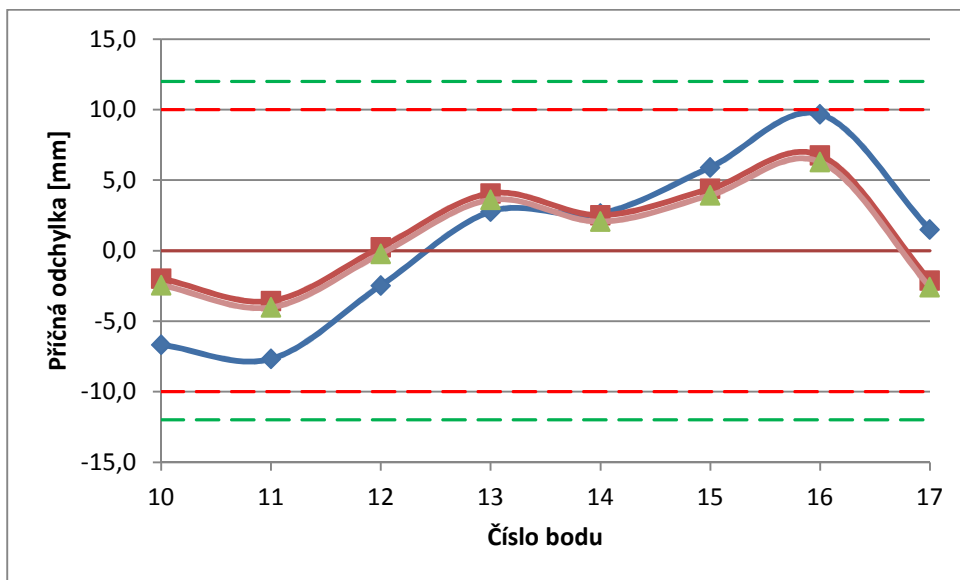
Grafy 7.1., 7.2. a 7.3. zobrazují vztah zjištěných geometrických parametrů k jejich mezním úchytkám dle platných norem. Zelenou čárkovanou čarou jsou znázorněny mezní úchyly dle ČSN 73 5130 [9], červenou čárkovanou čarou pak mezní úchyly dle ČSN EN 1090-2 [11].



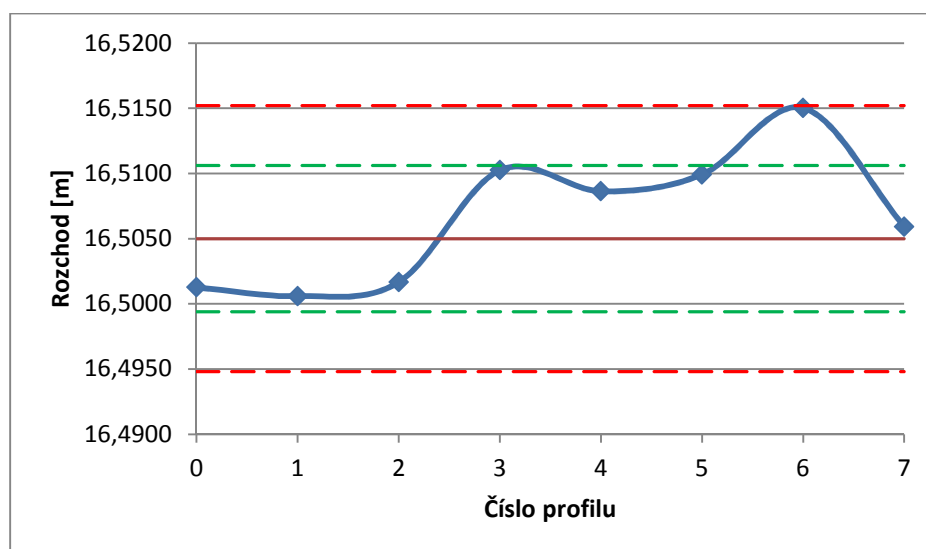
Graf 7.1. Spalovna – varianta A – porovnání příčných úchylek na koleji A s mezními příčnými úchytkami

Je patrné, že zjištěné hodnoty příčných úchylek vyhovují oběma normám. Nejvyšší zjištěná příčná úchylna po vyrovnání je rovna hodnotě 6,8 mm od vztažné

přímky na bodě 16. Zjištěné hodnoty rozchodů zcela vyhovují normě [11], mezní hodnoty normy [9] jsou překročeny v profilu č. 6 o 5 mm. Číselně jsou úchyly určených rozchodů od vztažné hodnoty vyjádřeny v tabulce B.12. příloh.



Graf 7.2. Spalovna – varianta A – porovnání příčných úchylek na koleji B s mezními příčnými úchyly



Graf 7.3. Spalovna – varianta A – porovnání rozchodů s mezními úchyly od projektované hodnoty

7.6.2.2. Směrový průběh a rozchody – Varianta B

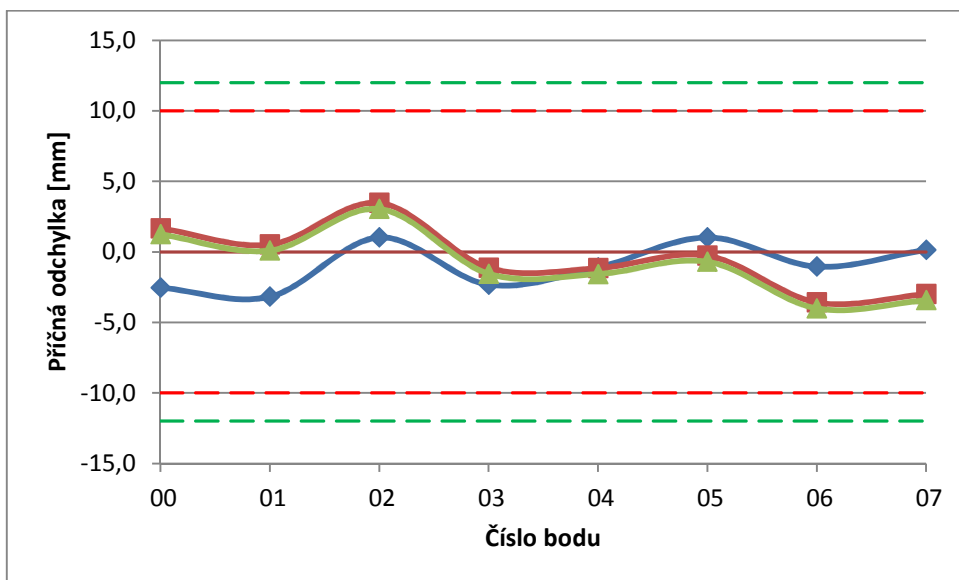
Do varianty B vstoupily rozchody a příčné úchyly vypočítané ze souřadnic získaných transformací (viz kap. 7.5.). Na rozdíl od varianty A nebyly geometrické parametry nijak upravovány podle konfigurace měření. Z toho vyplývá, že rozchody

a příčné úchyly si navzájem odpovídají a před optimalizací polohy vztažných přímek není třeba provádět žádné další výpočty.

ROZCHODY A SMĚROVÉ POMĚRY - VARIANTA B							
Č.P.	r [m]	o^L [mm]	$o_{N\check{S}}^L$ [mm]	o_{LK}^L [mm]	o^P [mm]	$o_{N\check{S}}^P$ [mm]	o_{LK}^P [mm]
0	16,5016	-2,5	1,7	1,2	-5,9	-1,7	-2,1
1	16,5004	-3,2	0,5	0,1	-7,7	-4,0	-4,5
2	16,5018	1,0	3,5	3,0	-2,2	0,3	-0,2
3	16,5104	-2,3	-1,1	-1,6	3,0	4,2	3,8
4	16,5090	-1,1	-1,2	-1,6	2,9	2,9	2,5
5	16,5100	1,0	-0,3	-0,7	6,0	4,7	4,3
6	16,5148	-1,0	-3,6	-4,0	8,8	6,2	5,8
7	16,5058	0,1	-3,0	-3,4	0,9	-2,3	-2,7

Tab. 7.3. Spalovna – varianta B – rozchody a příčné úchyly kolejnic

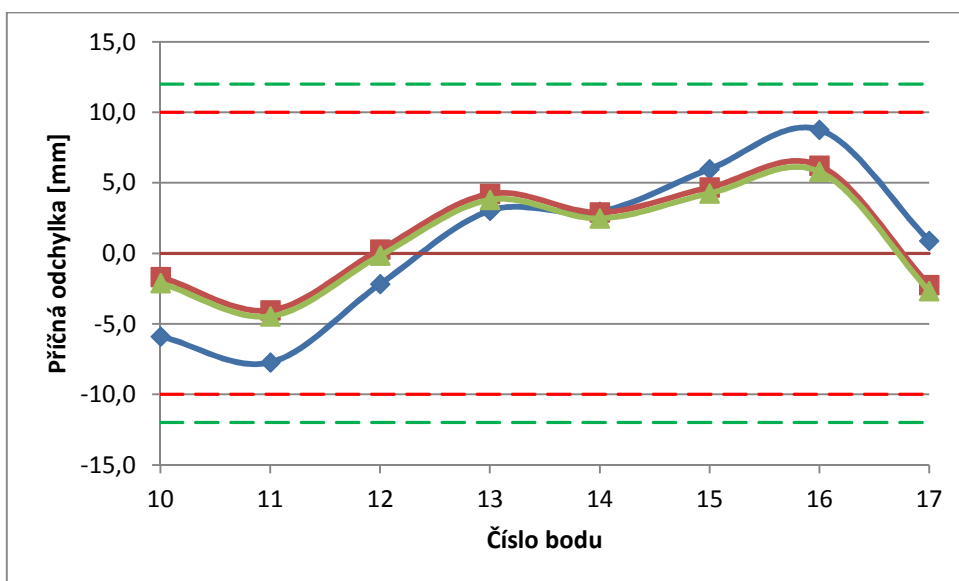
Tabulka 7.2. uvádí rozchody a příčné úchyly varianty B. Původní příčné úchyly byly vztaženy ke spojnici bodů 02-05 odsazené o +1,0 mm (kolej A) a k rovnoběžce s touto přímkou ve vzdálenosti $r^o = 16,5050$ m. Tabulka dále uvádí příčné úchyly po posunutí a natočení vztažných přímek podle modelů vyrovnání Novák – Šrom a Lukáč – Kopáček. Veškeré značení veličin i grafického znázornění, stejně jako orientace souřadnicového systému odpovídá kapitole 7.6.2.1.



Graf 7.4. Spalovna – varianta B – porovnání příčných úchylek na koleji A s mezními příčnými úchylkami

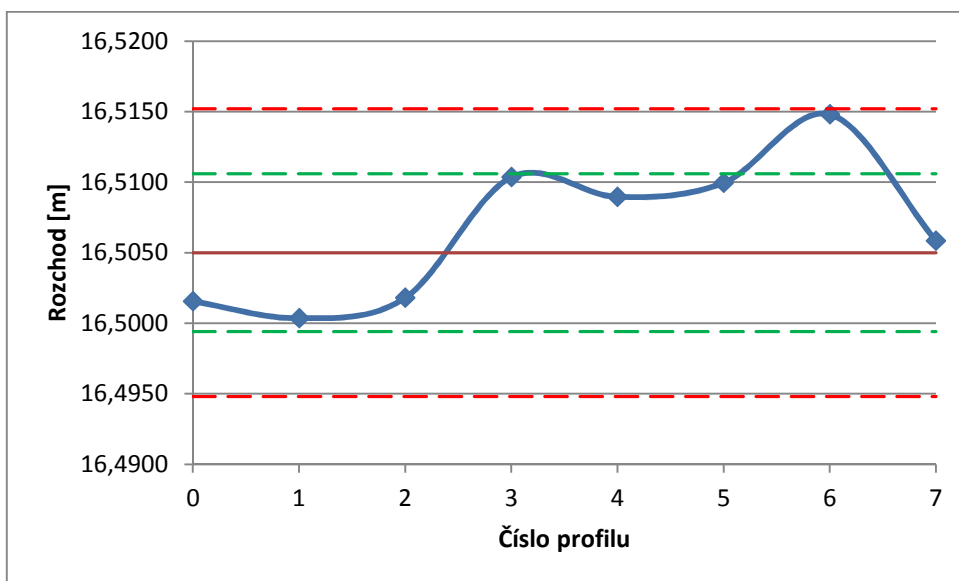
Grafy 7.4., 7.5. a 7.6. zobrazují vztah zjištěných geometrických parametrů k jejich mezním úchylkám dle platných norem. Zelenou čárkovanou čarou jsou

znázorněny mezní úchytky dle ČSN 73 5130 [9], červenou čárkovanou čarou pak mezní úchytky dle ČSN EN 1090-2 [11].



Graf 7.5. Spalovna – varianta B – porovnání příčných úchylek na koleji B s mezními příčnými úchytkami

Je patrné, že zjištěné hodnoty příčných úchylek vyhovují oběma normám. Nejvyšší zjištěná příčná úchylna po vyrovnání je rovna hodnotě 6,2 mm od vztažné přímky na bodě 16. Zjištěné hodnoty rozchodů zcela vyhovují normě [11], mezní hodnoty normy [9] jsou překročeny pouze v profilu č. 6 o 4,8 mm. Číselně jsou úchytky určených rozchodů od vztažné hodnoty vyjádřeny v tabulce B.13. příloh.



Graf 7.6. Spalovna – varianta B – porovnání rozchodů s mezními úchytkami od projektované hodnoty

7.6.2.3. Výškový průběh

Výškový průběh byl určen z hodnot získaných průměrem ze všech dostupných měření (viz tab. B.10., B.11. příloh) Tučně zvýrazněné hodnoty byly využity k posouzení výškových poměrů JD. Tabulka 7.4. uvádí mezní úchytky výškové úrovně kolejnic a mezní rozdíly výškových úrovní v příčném směru v rámci jednoho profilu. U normy [9] byly výškové poměry posuzovány podle hodnoty $1,2 \cdot \delta_x$, která náleží jeřábovým drahám v provozu.

MEZNÍ ÚCHYLKY VÝŠKOVÝCH ÚROVNÍ A VÝŠKOVÝCH ÚROVNÍ V PŘÍČNÉM SMĚRU [mm]				
	ČSN 73 5130		ČSN EN 1090-2	
	VÝŠKOVÁ ÚROVEŇ	PŘÍČNÝ ROZDÍL	VÝŠKOVÁ ÚROVEŇ	PŘÍČNÝ ROZDÍL
δ_x	10	10	15	33
$1,2 \cdot \delta_x$	12	12	-	-

Tab. 7.4. Spalovna - mezní úchytky výškové úrovně od projektované hodnoty a mezní rozdíly výškových úrovní v příčném směru

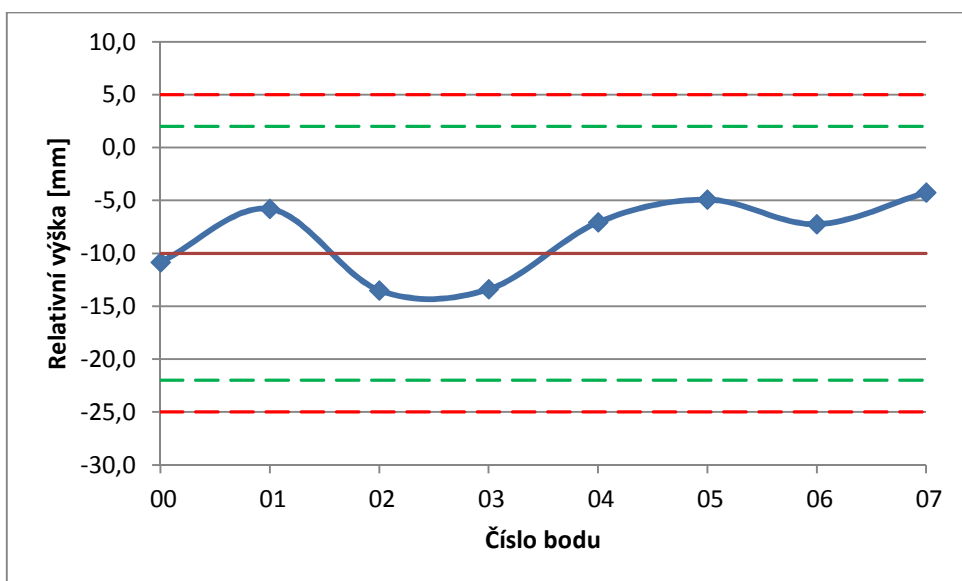
Tabulka 7.5. uvádí výškový průběh dráhy v rámci jednotlivých profilů. Značení je stejné jako u směrového průběhu, tedy v^L značí výškovou úroveň bodu koleje A (body 00 - 07), v^P výškovou úroveň bodu koleje B (10 - 17), d_v značí příčný rozdíl výškových úrovní profilu.

VÝŠKOVÉ POMĚRY JEŘÁBOVÉ DRÁHY [mm]			
Č.P.	v^L	v^P	d_v
0	-10,9	-19,7	8,8
1	-5,8	-14,3	8,5
2	-13,5	-11,8	-1,7
3	-13,4	-7,6	-5,8
4	-7,1	-6,8	-0,3
5	-4,9	-3,7	-1,2
6	-7,3	0,0	-7,3
7	-4,3	-3,3	-1,0

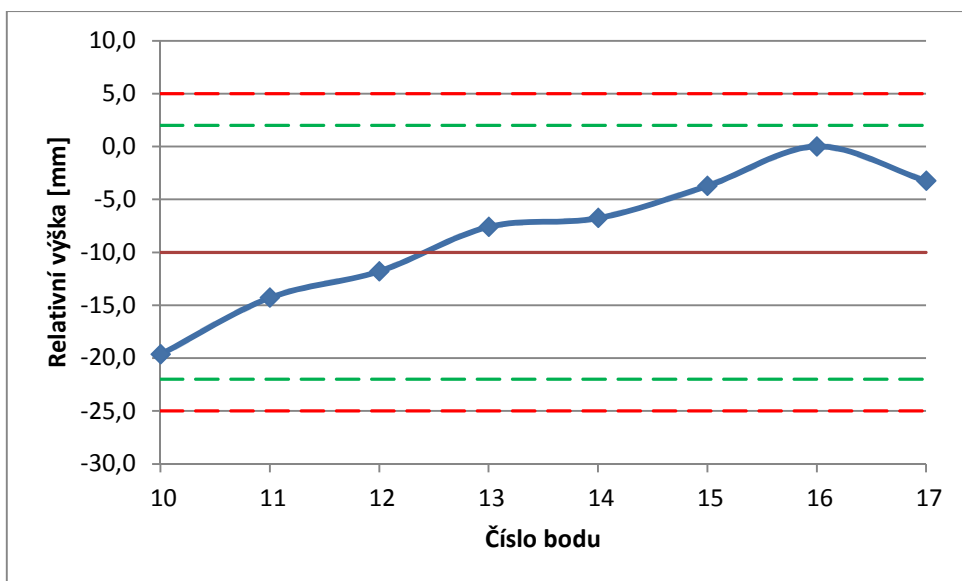
Tab. 7.5. Spalovna - výškový průběh jeřábové dráhy a rozdíly výškových úrovní v příčném směru

Grafy 7.7. a 7.8. uvádí porovnání výškových úrovní dráhy se zvolenou vztahnou hodnotou (v našem případě se jedná o zvolenou výškovou úroveň $\bar{h} = -10 \text{ mm}$. Graf 7.9. uvádí porovnání příčných rozdílů výškových úrovní dráhy s mezními hodnotami. Zelenou čárkovanou čarou jsou vyznačeny mezní úchytky dle

normy [9], červenou čárkovanou čarou mezní úchylky dle normy [11]. Číselně jsou odchylky od vztažné hodnoty uvedeny v tabulce B.14. příloh.

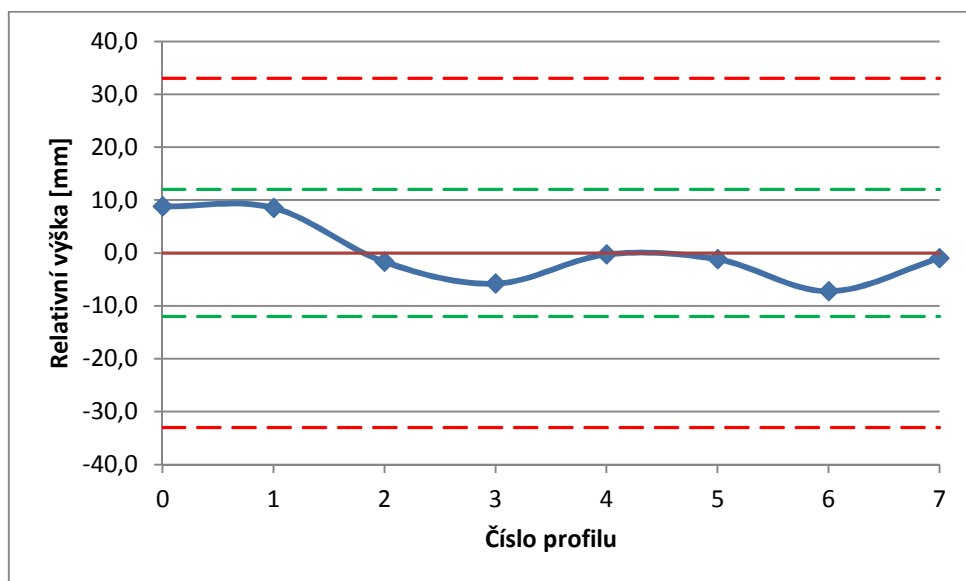


Graf 7.7. Spalovna – porovnání výškových poměrů jeřábové dráhy s mezními úchylkami – kolej A



Graf 7.8. Spalovna – porovnání výškových poměrů jeřábové dráhy s mezními úchylkami – kolej B

Je patrné, že výškové úrovně kolejnic i jejich příčné rozdíly vyhovují normám [9] i [11]. Nejvyšší odchylka od vztažné výškové úrovně je 10 mm na bodě 16. Nejvyšší příčný rozdíl výškových úrovní je v profilu č. 0 a to 8,8 mm.



Graf 7.9. Spalovna – porovnání rozdílů výškových úrovní v příčném směru s mezními úchylkami

7.6.2.4. Kolmost čel nárazek

MEZNÍ ODCHYLKY A TOLERANCE [mm]		
	ČSN 735130	ČSN EN 1090-2
δ_x	10,0	10,0
$1,2 \cdot \delta_x$	12,0	-
T_x	24,0	20,0

Tab. 7.6. Spalovna – mezní úchylky a tolerance odchylek spojnic čel nárazek od roviny kolmé k ose JD

KOLMOST ČEL NARÁŽEK [mm]				
VARIANTA A				
	$d_{N,00/10}$	$m_{dN,00/10}$	$d_{N,07/17}$	$m_{dN,07/17}$
9001	2,7	2,4		
9004	0,7	2,3		
9002			5,6	2,9
9003			5,4	2,5
PRŮMĚR	1,7	1,7	5,5	1,9
ODCHYLKA	2,0		0,2	
VARIANTA B (TRANSFORMACE)				
	0,5		7,4	

Tab. 7.7. Spalovna – odchylky spojnic čel nárazek od roviny kolmé k ose

Posouzení polohy čel nárazek vzhledem ke kolmé rovině bylo provedeno porovnáním rozdílů souřadnic „X“ bodů čel nárazek odpovídajících si profilů s tolerancí geometrického parametru (vztah 5.1.). Hodnoty odchylek spojnic čel

narážek od roviny kolmé k podélné ose JD je uvedeno v tabulce 7.7. Posouzení proběhlo podle tolerancí v tabulce 7.6. Z porovnání je jasné, že kritéria norem [9] i [11] jsou splněna.

7.7. Vyhodnocení posouzených geometrických parametrů

Kapitola 7.6. podrobně uvádí vypočítané geometrické parametry měření jeřábové dráhy a následně je porovnává s mezními úchytkami těchto parametrů, které jsou uvedeny v platných normách ČSN 73 5130 [9] a ČSN EN 1090-2 [11].

Příčné úchytky odpovídají normám ve všech případech. Nejvyšší hodnota příčné úchytky od vztažné přímky je na bodě 16 varianty A (6,8 mm, model Novák – Šrom). **Rozchody** splňují kritéria norem ve všech případech s výjimkou rozchodu v profilu č. 6. Ten sice vyhovuje normě [11], kritéria normy [9] však překračuje o 5 mm (varianta A), resp. 4,8 mm (varianta B).

Obě vypracované varianty vykazují velmi podobné výsledky. Nejvyšší vzájemná odchylka v rozchodech je v profilech 0 a 4 (0,3 mm), nejvyšší vzájemná odchylka v příčných úchytkách je 0,5 mm.

Výškové poměry vyhovují oběma normám. **Nejvyšší úchytky od vztažné výškové úrovně** je na bodě 16 (10 mm), **nejvyšší příčná úchytky** je v profilu č. 0 (8,8 mm).

Odchylka spojnice čel nárazek od roviny kolmé k podélné ose JD vyhovuje oběma normám.

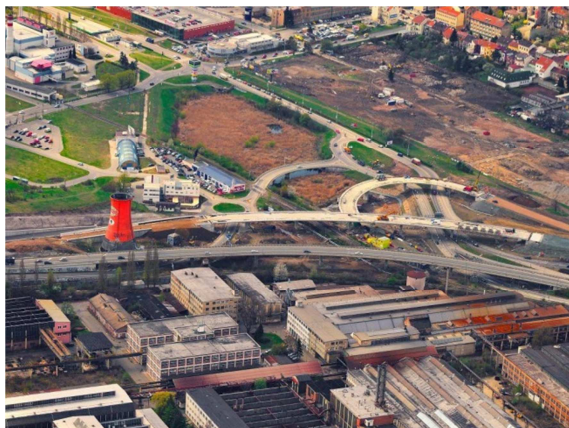
Dotčená jeřábová dráha je v dobrém stavu a navzdory jednomu překročení normovaných mezních hodnot ji **není potřeba rektifikovat**, protože druhá současně platná norma tuto hodnotu nepovažuje za kritickou.

Měřický elaborát předepsaný metodickým návodem [1], tedy technická zpráva a grafické znázornění výsledků měření, je součástí příloh (E.1. a E.2.). K jeho vyhotovení byly použity výsledky Varianty A směrového průběhu, model vyrovnání Lukáč – Kopáček. Všechny hodnoty byly zaokrouhleny na celé milimetry. Rozdíly mezi výsledky zjištěnými z obou výpočtů jsou ovšem takřka zanedbatelné.

8. PRAKTICKÉ MĚŘENÍ – MOSTÁRNA

8.1. Popis jeřábové dráhy

Královopolská strojírna je podnik s hlubokou tradicí. Byla založena v roce 1889 a původně se zaměřovala na výrobu železničních vagonů a parních kotlů. Brzy

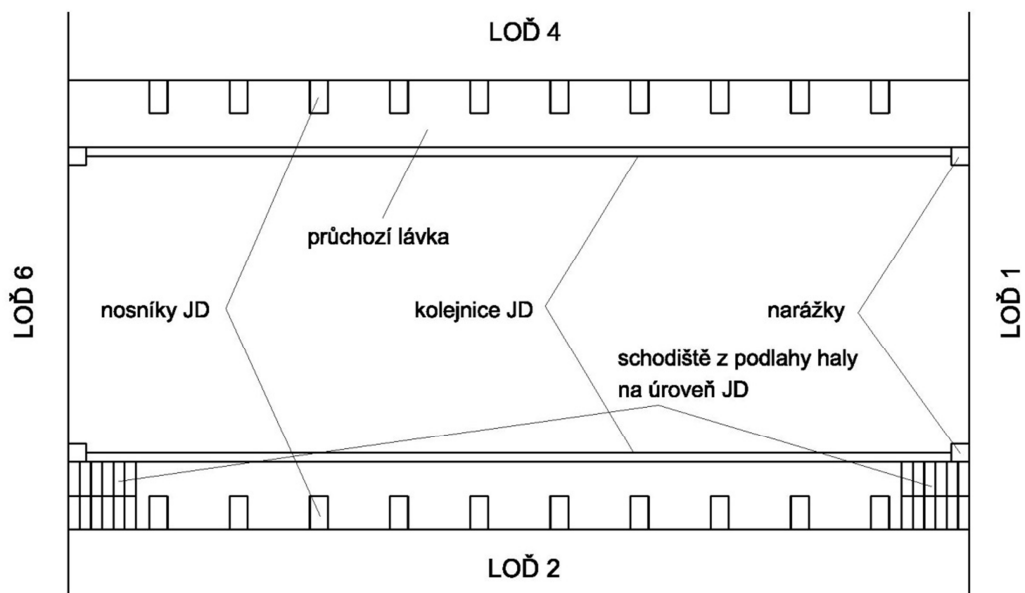


Obr. 8.1. Královopolská strojírna [22]



Obr. 8.2. Jeřábová dráha - mostárna

ale nastalo masivní rozšiřování pole působnosti a v současnosti tvoří těžiště činnosti podniku výroba zařízení pro chemický a petrochemický průmysl a dále také jeřábů. [45]



Obr. 8.3. Schématické znázornění JD v mostárně

Měření probíhalo ve III. lodi objektu mostárny v průmyslové zóně Královopolské strojírně s hlavní bránou z ulice Křížíkova v Brně. V této části haly jsou dvě jeřábové dráhy, předmětem měření byla ta spodní. Dráha je 104,2 m dlouhá, umístěna je 8,0 m nad zemí a projektovaný rozchod je 18,4 m. Po jeřábové

dráze pojíždí dva jeřábové mosty, každý z nich o nosnosti 25 000 kg. Šířka kolejnic je 65 mm. Vycházelo se z dokumentace skutečného zaměření stavby a dokumentace předchozích měření dráhy.

Průchozí lávky se nacházejí jen na podélných zdech haly, pro přechod na protější větev JD je tedy nutno použít jeřábového mostu. Trolejové vedení je upevněno na konzolách na vnitřní větvi JD. Situace v hale je znázorněna na obr. 8.3.

8.2. Volba metod

Účelem měření dráhy bylo určit její směrové a výškové poměry a kolmost spojnic čel nárážek. V hale mostárny čas nebyl zásadním faktorem, proto bylo přikročeno k měření dvěma metodami. Jednak byla opět využita prostorová polární metoda s postavením stroje přímo na kolejnici, jako druhá metoda byla zvolena metoda záměrné přímky se speciálním měřítkem Ústavu geodézie (viz kapitola 5.1.2.). Tato metoda byla doplněna technickou nivelací ke zjištění výškového průběhu JD. Od měření rozchodů komparovaným pásmem bylo upuštěno z důvodu vysokého bezpečnostního rizika obsluhy při provádění tohoto úkonu.

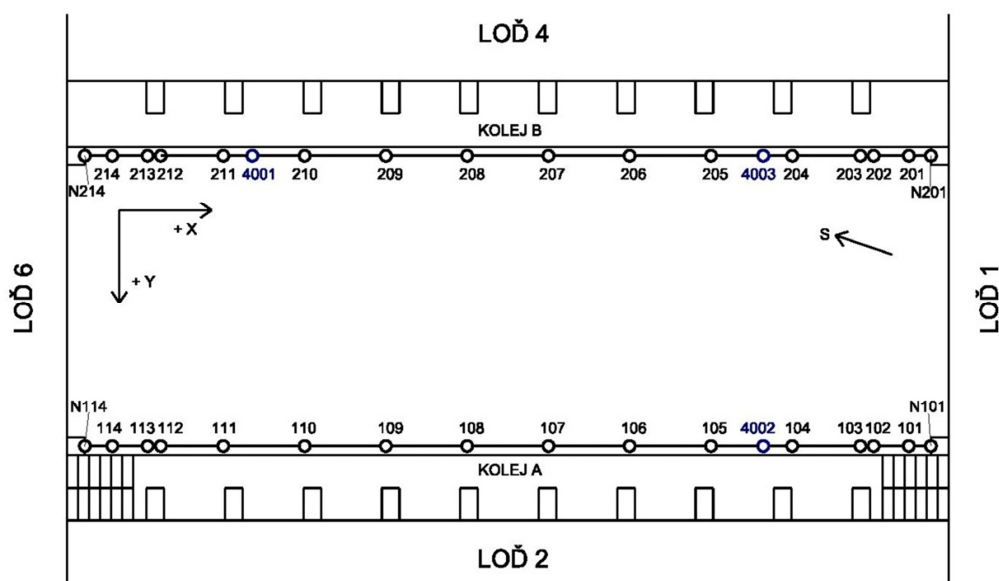
8.3. Postup měření

Měření v hale mostárny královopolské strojírny proběhlo dne 1. března 2013 od 14.00 do 21.30 hodin a bylo provedeno měřickou skupinou ve složení M. Příhoda, L. Ševčíková, J. Ferencz, A. Vitula a J. Bureš.

Po přesunutí jeřábových mostů do krajní polohy obsluhou jeřábu bylo možno signalizovat body nad středy podpor a na koncích kolejnic středícími nůžkami s důlčíkem. Vzhledem k poruše nůžek v průběhu prací musel být tento úkon dokončen pomocí posuvného strojnického měřítka a samostatného důlčíku. Měřítkem byla na několika místech zjištěna šířka hlavy kolejnice a v její polovině byl poté vynesena pozorovaný bod. Body na kolejnicích byly zvýrazněny křídou. Čela nárážek byla olepena odraznými štítky Sokkia.

V této poloze jeřábu byly viditelné body 101 - 111, 201 - 211, N101, N201. Polární metodou byly ze stanoviska 4001 zaměřeny všechny tyto body v jedné skupině a první poloze navíc. Niveláčnické měření proběhlo pouze na body na kolejnici

a bylo vykonáno jednou ze stanoviska 4001. Měření MZP bylo vykonáno ze stanovisek 4001 a 4002 jednou na body na kolejnici.



Obr. 8.4. Rozmístění bodů na JD v mostárně a orientace os

Po přesunutí mostů na opačný konec JD byly viditelné body 104 – 114, 204 – 214, N114, N214. Všechny tyto body byly zaměřeny polární metodou ze stanoviska 4002 v jedné skupině a jedné poloze navíc. Nivelační měření proběhlo ze stanoviska 4002 pouze na body na kolejnici. Měření MZP bylo vykonáno ze stanovisek 4002 a 4003 jednou na body na kolejnici. Stanovisko 4003 bylo vytvořeno, protože po přesunutí jeřábových mostů již ze stanoviska 4001 nebyla viditelná původní orientace (bod 201) a orientace na nejvzdálenější viditelné body (204 a 214) byly odsud poměrně krátké. Schéma rozmístění bodů v mostárně uvádím na obr. 8.4.

Data pro polární metodu byla registrována totální stanicí, data pro metodu záměrné přímký a nivelaci byla zapisována ručně.

8.4. Příprava dat pro výpočet

Elektronický zápisník musel být před samotným zpracováním opraven o některé nežádoucí vlivy. Vzhledem k tomu, že se měřilo v jedné skupině a jedné poloze navíc, bylo nutno opravit data o vliv kolimační a indexové chyby. Z párových měření byla vypočítána průměrná kolimační a indexová chyba, o jejichž hodnoty byla opravena všechna úhlová měření v prvních polohách. Z takto opravených

vodorovných a zenitových úhlů byl dále udělán aritmetický průměr. Zprůměrovány byly i všechna tři délková měření na konkrétní bod.

Délky byly opraveny o konstantu hranolu (zjištěnou v kapitole 6.2.) a cyklickou chybu (kap. 6.4.). Délky měřené na odrazný štítek byly navíc opraveny o rozdílovou konstantu (kap. 6.3.). Rozdílová konstanta nebyla měřena na tak velkou vzdálenost, hodnota byla proto extrapolována z měření provedených na kratší vzdálenosti.

Body byly za účelem jednodušší orientace při zpracování přecíslovány. Body měřené ze stanoviska 4001 byly označeny číslem „1“ před samotným číslem bodu, body měřené ze stanoviska 4002 byly označeny číslem „2“. Body s danými souřadnicemi (stanoviska jednotlivých měření, která dostala souřadnice v rámci zvoleného souřadnicového systému) byla označena písmenem „S“ před číslem bodu.

Převýšení naměřená metodou technické nivelace musela být opravena o vliv sklonu záměrné přímky, viz kap. 6.5.

8.5. Výpočet souřadnic z naměřených dat

8.5.1. Polární metoda

Rovinné souřadnice byly z obou stanovisek vypočítány pro každé stanovisko nezávisle ve zvolené místní souřadnicové soustavě s orientací na nejvzdálenější viditelný bod kolejnice s postavením stroje. Výpočet byl proveden v softwaru Groma v. 8.0 funkcí „Polární metoda“. Orientace os souřadnicového systému získaných odchylek je patrná z obr. 8.4.

Data pro posouzení výškového průběhu byla získána přímo v zápisníku a to funkcí „Měření => Zpracování zápisníku => Vypočítat převýšení“. Problém nastal při přepočítávání měření z obou stanovisek do stejné vztažné roviny, které je obvykle určena úrovní nejvyššího bodu dráhy. V našem případě se jedná o bod 101, který ovšem nebyl proměřen z obou stanovisek. Měření tedy musela být přepočítána do roviny určené bodem 104, která byla následně odsazena tak, aby se počátek nacházel v bodě 101.

Přepočet dvou různých měření do roviny jednoho měřeného bodu je principiálně problematický krok, protože měření tohoto konkrétního bodu z obou stanovisek může být zatíženo náhodnými chybami tak, že významně ovlivní

vzájemnou polohu párových měření. Byla proto provedena optimalizace polohy vztažné výškové roviny pro všechna měření vykonaná ze stanoviště 4002 (posun souřadnic všech měřených bodů o $+0,3\text{ mm}$). Vypočítané difference mezi výškovými souřadnicemi bodů z měření z obou stanovisek po této úpravě mnohem více odpovídají náhodnému rozdělení.

8.5.2. Metoda záměrné přímky

Při měření MZP byly příčné odchylky zapisovány tak, že kladných hodnot nabývaly ty odchylky od záměrné přímky, které směřovaly vně jeřábové dráhy. Pro potřeby výpočtu musely být sjednoceny se zavedeným souřadnicovým systémem (viz obr. 8.4.).

Na koleji č. 2 bylo měřeno ze dvou stanovisek, bylo tedy potřeba získané výsledky přepočítat na totožnou přímku (v našem případě 204 – 211). Výsledným produktem z výpočtu souřadnic jsou příčné odchylky od dvou vzájemně různoběžných přímek. Úprava na rovnoběžnost proběhne dále v rámci vyrovnaní MNČ.

8.5.3. Nivelace

Výškové souřadnice z měření technickou nivelací byly získány z odečtení všech jednotlivých čtení (záměry vpřed) od jednoho zvoleného čtení (záměra vzad). Problém přepočtu měření z obou stanovisek do stejné vztažné soustavy byl vyřešen totožným způsobem jako v případě trigonometricky zjištěných výšek v kapitole 8.5.1.

8.6. Posouzení geometrických parametrů dráhy

Vzhledem ke struktuře dat získaných měření v mostárně jsem považoval za výhodné zpracovat dvě varianty směrového průběhu dráhy a rozchodů. Do první varianty vstupovaly příčné odchylky zjištěné ze souřadnic vypočítaných polární metodou a vztažené ke zvolené přímce, zatímco do druhé varianty vstoupily příčné odchylky zjištěné MZP a rovněž vztažené ke zvolené přímce.

Vzhledem k nevyhnutelným měřickým chybám bylo nutno data sladit tak, aby si rozchody a příčné úchyly vzájemně odpovídaly. U první varianty byl použit

stejný princip jako v kap. 7.6.2.1., u varianty druhé musel být tento postup modifikován, jak je popsáno níže.

Rozchody jeřábové dráhy byly získány odečtením souřadnic „Y“ v rámci jednotlivých profilů. Ve většině případů jsou k dispozici data z měření na obou stanoviscích. Střední chyby obou naměřených hodnot těchto rozchodů jsou díky rozdílné konfiguraci měření odlišné. Do zpracování byly vybrány ty hodnoty rozchodů, které byly zjištěny v rámci výhodnější konfigurace. Pokud je přesnost zjištěných rozchodů srovnatelná, byl proveden aritmetický průměr naměřených hodnot. Rovněž bylo nezbytné ověřit, zda se v naměřených datech nevyskytují hrubé chyby. Tam, kde to bylo možné, byla proto ze středních chyb jednotlivých rozchodů vypočítána mezní hodnota jejich rozdílu, se kterou byly skutečné rozdíly porovnány.

V případě **příčných úchylek** se postupovalo podobně. Kde bylo možno posoudit jejich vzájemnou shodu z dvojího nezávislého určení byly vypočítány mezní rozdíly určených hodnot a skutečné rozdíly byly s hodnotami mezních rozdílů porovnány. U úchylek získaných polární metodou pak byly převzaty ty hodnoty, které byly určeny ze stanoviska umístěného na téže kolejnici jako určovaný bod. U MZP je takováto selekce dat zbytečná, protože přesnost zjištěných úchylek je srovnatelná z obou měření.

Výškový průběh dráhy byl určen taktéž dvěma metodami, jejichž přesnost v obou případech bohatě splňuje kritéria daná rozbořem přesnosti. Konfigurace měření zde navíc nemá tak výrazný vliv na přesnost určené výšky, rozhodl jsem se neselektovat data a výslednou výšku vypočítat aritmetickým průměrem. Přesnost měření byla ověřena porovnáním rozdílů dvou určení výšky jednou metodou s mezními hodnotami a dále porovnání rozdílů výšek zjištěných oběma metodami s mezními hodnotami.

Kolmost spojnice čel narážek na podélnou osu JD byla posouzena porovnáním rozdílu souřadnic „X“ bodů odpovídajících si narážek s mezní hodnotou, danou normami.

8.6.1. Porovnání rozdílů naměřených hodnot s mezními rozdíly

Mezní hodnoty rozdílů d_{x_i} hodnot jednotlivých geometrických parametrů x_i byly vypočítány vztahem:

$$\delta_{d_{x_i}} = 2 \cdot \sqrt{(m_{x_i}^I)^2 + (m_{x_i}^{II})^2}, \quad (8.1.)$$

kde $m_{x_i}^I$ a $m_{x_i}^{II}$ jsou střední chyby určení geometrického parametru x_i z prvního a druhého měření.

Střední chyba aritmetického průměru byla určena vztahem (5.5.).

Aposteriorní odhad střední chyby jednoho měření z dvojic měření byl vypočítán vztahem [25]:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d^2}{2n}}. \quad (8.2.)$$

Tento odhad střední chyby byl porovnán s apriorní přesností.

8.6.1.1. Porovnání rozdílů naměřených rozchodů s mezními rozdíly

Porovnání rozdílů naměřených **rozchodů** s mezními hodnotami těchto rozdílů, vypočítanými podle vztahu (8.1.), je uvedeno v tabulce C.3. příloh. Rozdíly ve všech případech vyhovují vypočítané mezní hodnotě. Hodnoty rozchodů, které byly využity do dalšího zpracování, jsou tučně zvýrazněny.

Střední chyby rozchodů byly počítány vztahem (5.4.). Odhad aposteriorní střední chyby jednou měřeného rozchodu vypočítaný podle vzorce (8.2.) dosahuje hodnoty $m_{r_o} = 1,1 \text{ mm}$, zatímco maximální střední chyba měření rozchodu určeného aritmetickým průměrem dvou měření, zjištěná rozbořem přesnosti po uvolnění kritérií (viz kap. 5.2.1.), je $m_{MET,r} = 1,8 \text{ mm}$. Přesnost měření tedy plně vyhovuje.

8.6.1.2. Porovnání rozdílů naměřených příčných úchylek s mezními rozdíly

Porovnání rozdílů **příčných úchylek naměřených polární metodou** s mezními hodnotami těchto rozdílů, vypočítanými podle vztahu (8.1.), je uvedeno v tabulce C.4. příloh. Rozdíly ve všech případech vyhovují vypočítané mezní

hodnotě. Hodnoty úchylek, které byly využity do dalšího zpracování, jsou tučně zvýrazněny.

Střední chyby příčných úchylek byly převzaty z výpočtu parametrů elips chyb, který je taktéž součástí příloh (tab. C.1. a C.2.). Odhad aposteriorní střední chyby jednou měřené příčné úchylky vypočítaný podle vzorce (8.2.) dosahuje hodnoty $m_{p_o} = 0,6 \text{ mm}$, zatímco maximální střední chyba měření příčných úchylek určených aritmetickým průměrem dvou měření, zjištěná rozbořem přesnosti, je $m_{MET,p} = 2,0 \text{ mm}$. Přesnost měření tedy vyhovuje.

Porovnání rozdílů **příčných úchylek naměřených MZP** s mezními hodnotami těchto rozdílů, vypočítanými podle vztahu (8.1.), je uvedeno v tabulkách C.5. a C.6. příloh. Rozdíly vyhovují mezní hodnotě ve všech případech kromě bodu 109, kde je mezní rozdíl překročen o 0,1 mm. Vzhledem k jinak kvalitní shodě obou měření jsem se rozhodl tuto diskrepanci ponechat bez následků. Hodnoty úchylek, které byly využity do dalšího zpracování, jsou tučně zvýrazněny.

Střední chyby příčných úchylek byly určeny podle vztahu (5.9.). Odhad aposteriorní střední chyby jednou měřené příčné úchylky vypočítaný podle vzorce (8.2.) dosahuje hodnoty $m_{p_o} = 0,6 \text{ mm}$, zatímco maximální střední chyba měření příčných úchylek určených aritmetickým průměrem dvou měření, zjištěná rozbořem přesnosti, je $m_{MET,p} = 2,0 \text{ mm}$. Přesnost měření tedy vyhovuje.

8.6.1.3. Porovnání rozdílů naměřených výšek s mezními rozdíly

Porovnání rozdílů **výšek určených trigonometrickou metodou** s mezními hodnotami těchto rozdílů, vypočítanými podle vztahu (8.1.), je uvedeno v tabulce C.7. příloh. Rozdíly sice nevyhovují mezním hodnotám v několika případech, u trigonometrické metody ovšem musíme brát v úvahu, že přesnost měření v tomto případě výrazně ovlivňují i další faktory, jako např. chyba ze zacílení na střed hranolu nebo volba vztažné roviny. Vzhledem k aposteriorní střední chybě vypočítané z měřických dvojic budeme měření považovat za vyhovující.

Střední chyby trigonometricky určených výšek byly vypočítány podle vztahu (5.11.). Odhad aposteriorní střední chyby jednou měřené příčné úchylky vypočítaný podle vzorce (8.2.) dosahuje hodnoty $m_{v_o} = 0,7 \text{ mm}$, zatímco maximální střední

chyba měření výškových úrovní určených aritmetickým průměrem dvou měření, zjištěná rozbořem přesnosti, je $m_{MET,p} = 2,0 \text{ mm}$. Přesnost měření tedy vyhovuje.

Porovnání rozdílů **výšek určených nivelací** s mezními hodnotami těchto rozdílů, vypočítanými podle vztahu (8.1.), je uvedeno v tabulce C.8. příloh. Vypočtené rozdíly vyhovují mezním hodnotám ve všech případech.

Střední chyby výšek určených nivelací byly vypočítány podle vztahu (5.13.). Odhad aposteriorní střední chyby jednou měřené příčné úchyly vypočítaný podle vzorce (8.2.) dosahuje hodnoty $m_{v_o} = 0,6 \text{ mm}$, zatímco maximální střední chyba měření výšek určených aritmetickým průměrem dvou měření, zjištěná rozbořem přesnosti, je $m_{MET,v} = 2,0 \text{ mm}$. Přesnost měření tedy vyhovuje.

Porovnání rozdílů **výšek určených oběma metodami** s mezními hodnotami těchto rozdílů je uvedeno v tabulce C.9. příloh. Vypočtené rozdíly vyhovují mezním hodnotám ve všech případech. Střední chyby jednotlivých výšek byly převzaty z tabulek C.7. a C.8.

8.6.2. Porovnání zjištěných geometrických parametrů s platnými normami

8.6.2.1. Směrový průběh a rozchody – Varianta A (polární metoda)

Jak již bylo řečeno, do řešení varianty A vstoupily rozchody a příčné úchyly kolejnic určené polární metodou s co možná nejlepší střední chybou určení (tab. C.3. a C.4.. tučně) a musely být vzájemně sladěny podle postupu popsaneho v kap. 7.6.2.

MEZNÍ ÚCHYLKY ROZCHODŮ A PŘÍČNÉ [mm]				
	ČSN 73 5130		ČSN EN 1090-2	
	ROZCHOD	PŘÍČNÁ	ROZCHOD	PŘÍČNÁ
δ_x	5,1	10	10,8	10
$1,2 \cdot \delta_x$	6,1	12	-	-

Tab. 8.1. Mostárna - mezní úchyly rozchodů a mezní příčné úchyly

Tabulka 8.1. uvádí mezní úchyly rozchodů od vztažné hodnoty a mezní příčné úchyly dle platných norem ČSN 73 5130 [9] a ČSN EN 1090-2 [11]. Posouzení proběhlo dle tučně zvýrazněných hodnot, tedy v případě normy [9] s hodnotou $1,2 \cdot \delta_x$, která je určena pro jeřábové dráhy v provozu.

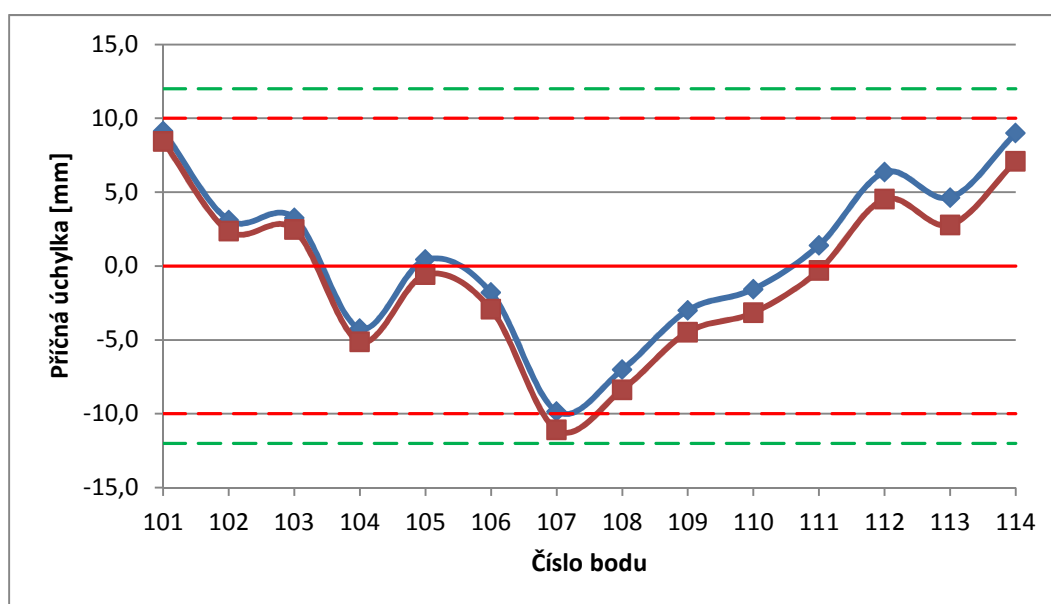
Tabulka 8.2. uvádí rozchody a příčné úchyly (modrou čarou v grafech 8.1. a 8.2.) varianty A. Původní příčné úchyly byly vztaženy ke spojnici bodů 106-110 odsazené o $-1,8 \text{ mm}$ (kolej A) a k rovnoběžce s touto přímkou ve vzdálenosti

$r^o = 18,3970 \text{ m}$. Tabulka dále uvádí příčné úchyly po posunutí a natočení vztažných přímek podle modelu vyrovnání Novák – Šrom (červenou čarou v grafech

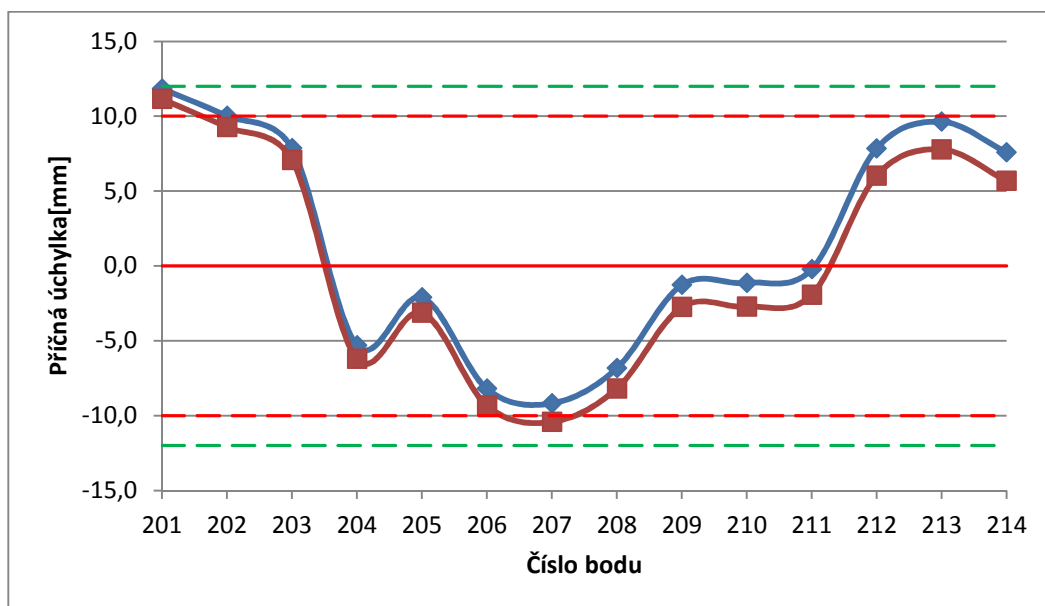
ROZCHODY A SMĚROVÉ POMĚRY – VARIANTA A					
Č.P.	$r \text{ [m]}$	$o^P \text{ [mm]}$	$o_{vyr}^P \text{ [mm]}$	$o^L \text{ [mm]}$	$o_{vyr}^L \text{ [mm]}$
1	18,3943	9,1	8,4	11,8	11,1
2	18,3901	3,1	2,4	10,0	9,3
3	18,3924	3,2	2,5	7,9	7,1
4	18,3981	-4,2	-5,1	-5,3	-6,2
5	18,3995	0,4	-0,6	-2,1	-3,1
6	18,4034	-1,8	-2,9	-8,2	-9,3
7	18,3963	-9,8	-11,1	-9,2	-10,4
8	18,3968	-7,0	-8,4	-6,8	-8,2
9	18,3953	-3,0	-4,5	-1,3	-2,7
10	18,3966	-1,6	-3,2	-1,1	-2,7
11	18,3986	1,4	-0,3	-0,2	-1,9
12	18,3955	6,3	4,5	7,8	6,0
13	18,3920	4,6	2,8	9,6	7,8
14	18,3984	9,0	7,1	7,6	5,7

Tab. 8.2. Mostárna - varianta A - rozchody a příčné úchyly kolejnic

8.1. a 8.2., kap. 5.3.1.) o_{vyr}^P a o_{vyr}^L . Souřadnicový systém je orientován dle obr. 8.4., osa „X“ je vložena do koleje B. Úchyly na koleji B jsou tedy značeny jako o^L , úchyly na koleji A jako o^P .

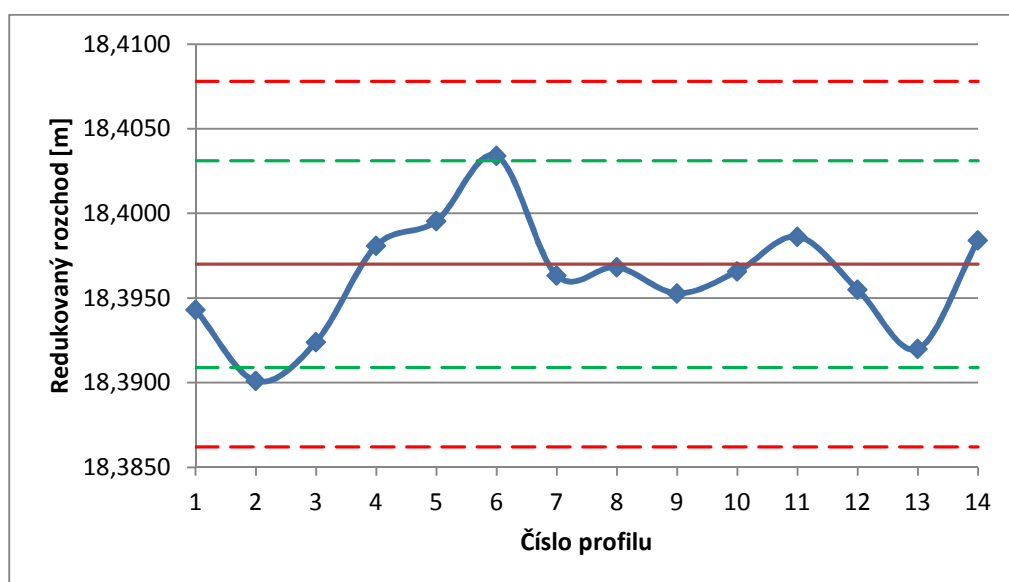


Graf 8.1. Mostárna - varianta A - porovnání příčných úchylek na koleji A s mezními příčnými úchylkami



Graf 8.2. Mostárna - varianta A - porovnání příčných úchylek na koleji B s mezními příčnými úchylkami

Grafy 8.1., 8.2. a 8.3. zobrazují vztah zjištěných geometrických parametrů k jejich mezním úchylkám dle platných norem. Zelenou čárkovanou čarou jsou znázorněny mezní úchyly dle ČSN 73 5130 [9], červenou čárkovanou čarou pak mezní úchyly dle ČSN EN 1090-2 [11].



Graf 8.3. Mostárna - varianta A - porovnání rozchodů s mezními úchylkami od projektované hodnoty

Je patrné, že zjištěné hodnoty příčných úchylek vyhovují normě [9], zatímco kritéria normy [11] na několika místech mírně překračují (body 107, 201, 207, maximálně o 1,1 mm). Zjištěné hodnoty rozchodů zcela vyhovují normě [11], mezní

hodnoty normy [9] jsou mírně překročeny (profily 2 a 6, maximálně o 0,8 mm). Číselně jsou úchyly určených rozchodů od vztažné hodnoty vyjádřeny v tabulce C.10 příloh.

8.6.2.2. Směrový průběh a rozchody – Varianta B (rozchody – polární metoda, příčné úchyly – metoda záměrné přímký)

Do řešení varianty B vstoupily rozchody určené polární metodou v kombinaci s příčnými úchyly určenými MZP a musely být vzájemně synchronizovány.

Příčné úchyly zjištěné MZP byly při vstupu do výpočtu vztaženy ke spojnicím bodů 111-104 (kolej A) a 211-204 (kolej B), ve své podstatě tedy šlo o úchyly vztažené ke dvěma různoběžným přímkám. Muselo proto dojít k redukci úchylek na dvě rovnoběžné přímký o rozchodu $r^o = 18,3970 \text{ m}$. Korekce k se vypočítala vztahem:

$$k = r^o - r_A + \frac{r_A - r_B}{d_{A,B}} \cdot x_i, \quad (8.3.)$$

kde r_A a r_B jsou rozchody v počátečním a koncovém profilu bodů určujících vztažné přímký (v našem případě tedy $r_A = r_{11}$ a $r_B = r_4$), $d_{A,B}$ je vzdálenost těchto profilů a x_i je staničení profilu, když počátek je stanoven do profilu č. 11 a kladné hodnoty směřují směrem k profilu č. 4.

Samotná redukce byla provedena přičtením vypočítané korekce k k odchylkám na koleji B:

$$o_i^L = o_{i,měř}^L + k, \quad (8.4.)$$

kde $o_{i,měř}^L$ je naměřená příčná úchylka vztažená k přímkce 211-204. Nyní lze postupovat dál podle vztahů (7.3.) – (7.8.).

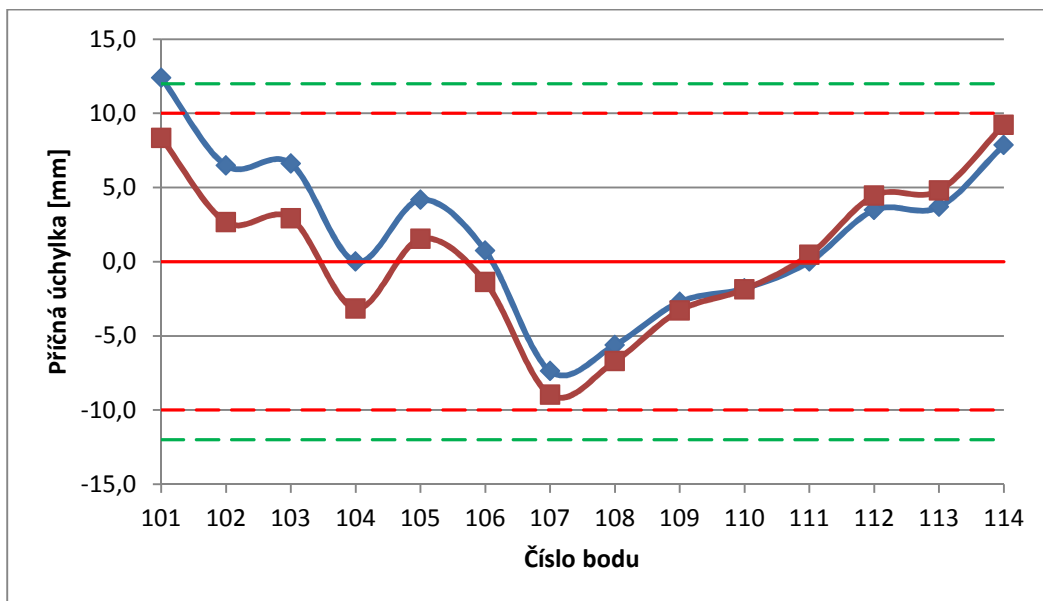
Tabulka 8.3. uvádí rozchody a příčné úchyly (modrou čarou v grafech 8.4. a 8.5.) varianty B. Tabulka dále uvádí příčné úchyly po posunutí a natočení vztažných přímek podle modelu vyrovnání Novák – Šrom (červenou čarou v grafech

8.4. a 8.5., kap. 5.3.1.) o_{vyr}^P a o_{vyr}^L . Souřadnicový systém, umístění osy „X“ označení příčných úchylek je stejné jako v případě varianty A.

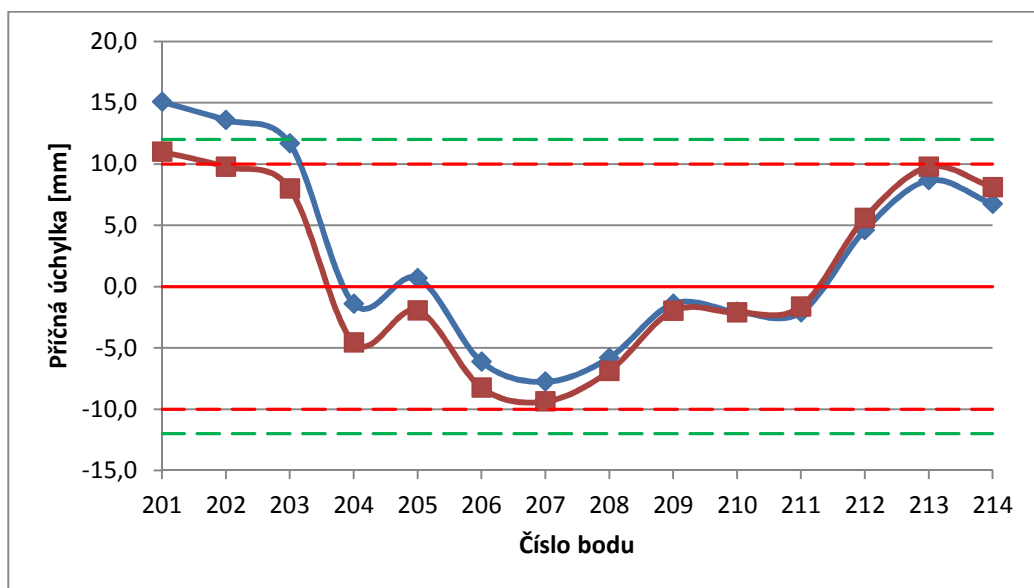
ROZCHODY A SMĚROVÉ POMĚRY – VARIANTA B					
Č.P.	r [m]	o^P [mm]	o_{vyr}^P [mm]	o^L [mm]	o_{vyr}^L [mm]
1	18,3943	12,4	8,3	15,1	11,0
2	18,3899	6,5	2,7	13,6	9,8
3	18,3919	6,6	2,9	11,7	8,0
4	18,3984	0,0	-3,2	-1,4	-4,6
5	18,4005	4,2	1,5	0,7	-2,0
6	18,4039	0,7	-1,4	-6,1	-8,3
7	18,3974	-7,4	-9,0	-7,8	-9,4
8	18,3972	-5,6	-6,7	-5,8	-6,9
9	18,3957	-2,7	-3,3	-1,4	-2,0
10	18,3972	-1,8	-1,9	-2,1	-2,1
11	18,3991	0,0	0,5	-2,1	-1,6
12	18,3959	3,5	4,5	4,6	5,6
13	18,3920	3,7	4,8	8,7	9,8
14	18,3981	7,9	9,2	6,7	8,1

Tab. 8.3. Mostárna - varianta B - rozchody a příčné úchyly kolejnic

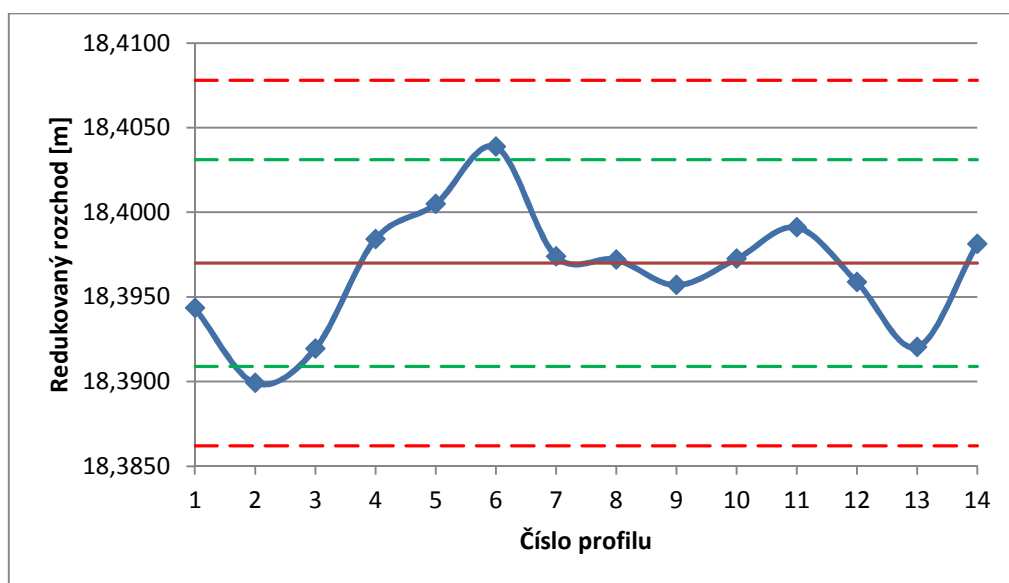
Grafy 8.4., 8.5. a 8.6. zobrazují vztah zjištěných geometrických parametrů k jejich mezním úchytkám dle platných norem. Zelenou čárkovanou čarou jsou znázorněny mezní úchytky dle ČSN 73 5130 [2], červenou čárkovanou čarou pak mezní úchytky dle ČSN EN 1090-2 [3].



Graf 8.4. Mostárna - varianta B - porovnání příčných úchylek na koleji A s mezními příčnými úchytkami



Graf 8.5. Mostárna - varianta B - porovnání příčných úchylek na koleji B s mezními příčnými úchylkami



Graf 8.6. Mostárna - varianta B - porovnání rozchodů s mezními úchylkami od projektované hodnoty

Zjištěné hodnoty příčných úchylek zcela vyhovují normě [9], kritéria normy [11] byla překročena pouze na bodě 201 o 1 mm. Zjištěné hodnoty rozchodů vyhovují normě [11], mezní hodnoty normy [9] jsou mírně překročeny v profilech 2 a 6. Číselně jsou úchyly určených rozchodů od vztahné hodnoty vyjádřeny v tabulce C.11 příloh.

8.6.2.3. Výškový průběh

Výškový průběh byl určen z hodnot získaných průměrem obou využitých metod (viz tab. C.9. příloh) Tučně zvýrazněné hodnoty byly využity k posouzení výškových poměrů JD. Tabulka 8.4. uvádí mezní úchytky výškové úrovně kolejnic a mezní rozdíly výškových úrovní v příčném směru v rámci jednoho profilu. U normy [9] byly výškové poměry posuzovány podle hodnoty $1,2 \cdot \delta_x$, která náleží jeřábovým drahám v provozu.

MEZNÍ ÚCHYLKY VÝŠKOVÝCH ÚROVNÍ A VÝŠKOVÝCH ÚROVNÍ V PŘÍČNÉM SMĚRU [mm]				
	ČSN 73 5130		ČSN EN 1090-2	
	VÝŠKOVÁ ÚROVEŇ	PŘÍČNÝ ROZDÍL	VÝŠKOVÁ ÚROVEŇ	PŘÍČNÝ ROZDÍL
δ_x	10	10	15	36,8
$1,2 \cdot \delta_x$	12	12	-	-

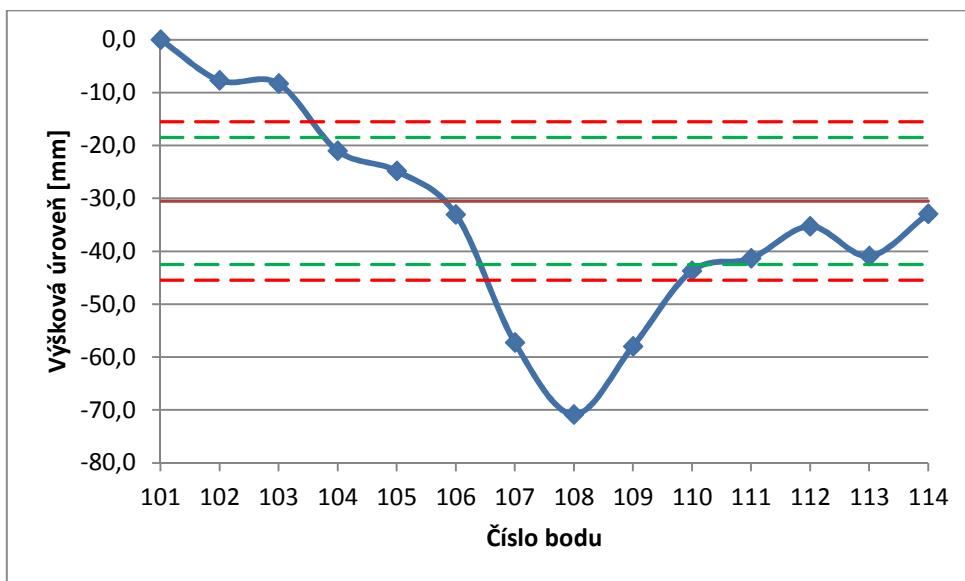
Tab. 8.4. Mostárna - mezní úchytky výškové úrovně od projektované hodnoty a mezní rozdíly výškových úrovní v příčném směru

Tabulka 8.5. uvádí výškový průběh dráhy v rámci jednotlivých profilů. Značení je stejné jako u směrového průběhu, tedy v^L značí výškovou úroveň bodu koleje B (body 201 – 214), v^P výškovou úroveň bodu koleje A (101 – 114), d_v značí příčný rozdíl výškových úrovní profilu.

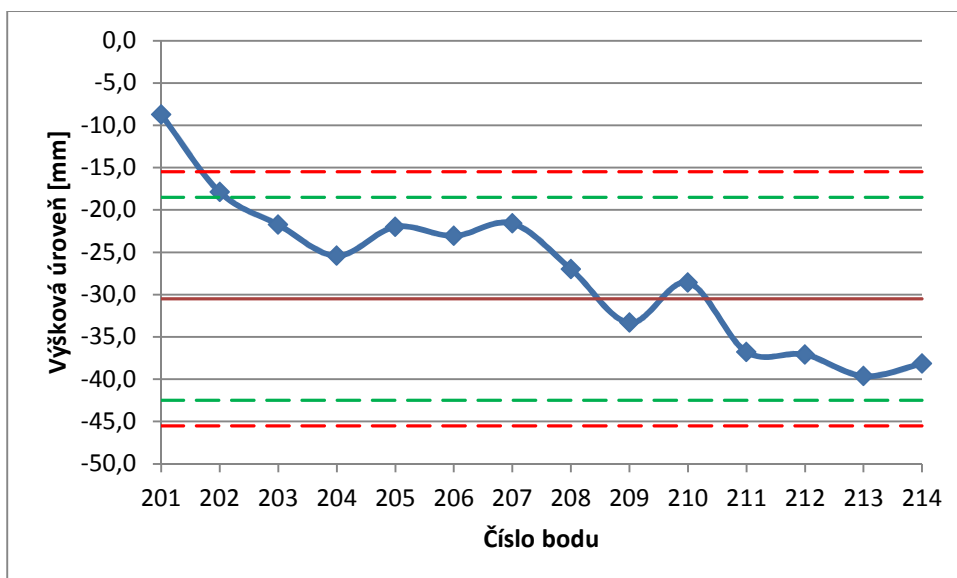
VÝŠKOVÉ POMĚRY JEŘÁBOVÉ DRÁHY [mm]			
Č.P.	v^P	v^L	d_v
1	0,0	-8,7	-8,7
2	-7,7	-17,9	-10,2
3	-8,3	-21,8	-13,4
4	-21,0	-25,4	-4,4
5	-24,8	-22,0	2,8
6	-33,0	-23,1	9,9
7	-57,3	-21,6	35,7
8	-70,8	-27,0	43,9
9	-57,9	-33,3	24,6
10	-43,7	-28,6	15,1
11	-41,3	-36,8	4,5
12	-35,3	-37,1	-1,8
13	-40,9	-39,6	1,3
14	-32,9	-38,2	-5,3

Tab. 8.5. – Mostárna – výškový průběh jeřábové dráhy a rozdíly výškových úrovní v příčném směru

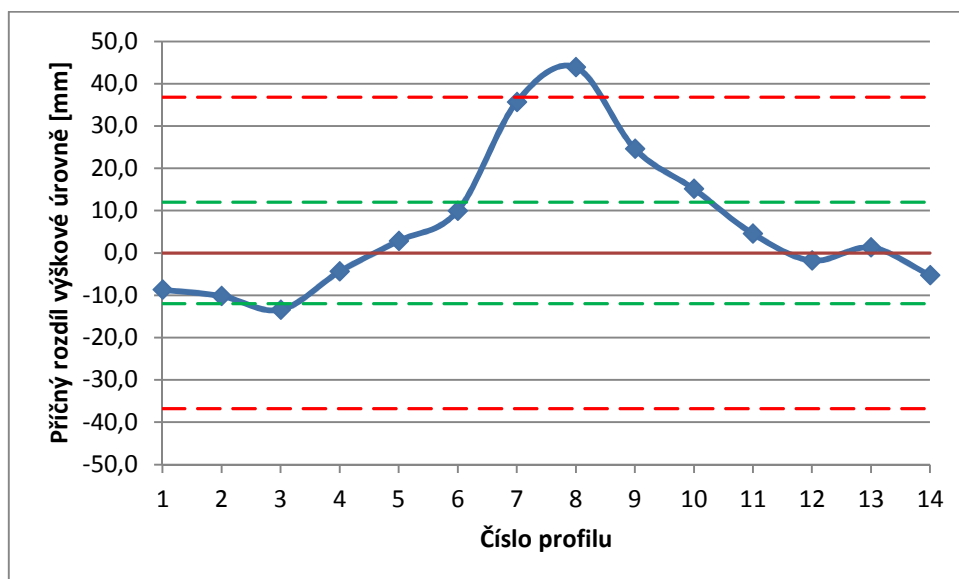
Grafy 8.7. a 8.8. uvádí porovnání výškových úrovní dráhy se zvolenou vztažnou hodnotou (v našem případě se jedná o zvolenou průměrnou výškovou úroveň $\bar{h} = 30,5 \text{ mm}$. Graf 8.9. uvádí porovnání příčných rozdílů výškových úrovní dráhy s mezními hodnotami. Zelenou čárkovanou čarou jsou vyznačeny mezní úchyly dle normy [9], červenou čárkovanou čarou mezní úchyly dle normy [11]. Číselně jsou odchylky od vztažné hodnoty uvedeny v tabulce C.12. příloh.



Graf 8.7. Mostárna - porovnání výškových poměrů jeřábové dráhy s mezními úchyly - kolej A



Graf 8.8. Mostárna - porovnání výškových poměrů jeřábové dráhy s mezními úchyly - kolej B



Graf 8.9. Mostárna – porovnání rozdílů výškových úrovní v příčném směru s mezními úchytkami

Z grafů 8.7. a 8.8. je patrné, že výškové poměry dráhy nevyhovují žádné z platných norem. Podobně jsou na tom i příčné rozdíly výškových úrovní. Ty zdaleka nesplňují kritéria normy [9], benevolentnější předepsané mezní úchytky normy [11] jsou překročeny pouze v profilu č. 8. Nejvyšší úchytky od vztažné hodnoty je na bodě 108 (40,3 mm), nejvyšší příčný rozdíl je v profilu č. 8 (43,9 mm).

8.6.2.4. Kolmost čel nárazek

Posouzení polohy čel nárazek vzhledem ke kolmé rovině bylo provedeno porovnáním rozdílů souřadnic „X“ bodů čel nárazek odpovídajících si profilů s tolerancí geometrického parametru (vztah 5.1.). Samotné porovnání je uvedeno v tabulce 8.6.

KOLMOST ČEL NARÁŽEK [mm]			MEZNÍ ODCHYLKY A TOLERANCE [mm]		
	d	m_d		ČSN 735130	ČSN EN 1090-2
$d_{N,101/201}$	20,8	3,0	δ_x	10,0	10,0
$d_{N,114/214}$	37,8	3,0	$1,2 \cdot \delta_x$	12,0	-
-	-	-	T_x	24,0	20,0

Tab. 8.6. Mostárna – odchylky spojnic čel nárazek od roviny kolmé k ose JD a jejich mezní úchytky a tolerance

Z tabulky je zjevné, že čela nárazek nesplňují kritéria normy [11], normě [9] vyhovují pouze nárazky profilu N14.

8.7. Vyhodnocení posouzených geometrických parametrů

Kapitola 8.6. podrobně uvádí vypočítané geometrické parametry měřené jeřábové dráhy a následně je porovnává s jejich mezními úchylkami, které jsou uvedeny v platných normách ČSN 73 5130 [9] a ČSN EN 1090-2 [11].

Směrové úchyly odpovídají normám ve valné většině případů, výjimku tvoří body 107, 201 a 207 varianty A a bod 201 varianty B, kde úchyly nesplňují kritéria normy [11] maximálně o 1,1 mm, kritéria normy [9] jsou ve všech případech dodržena. **Rozchody** nesplňují kritéria normy [9] v profilech 2 a 6, maximální překročení dovolených úchylek je 1,0 mm v případě profilu č. 2 varianty B.

Obě vypracované varianty vykazují velmi podobné výsledky. Nejvyšší odchylka v rozchodu je v profilu č. 7 (1,1 mm), nejvyšší odchylka v příčné úchylce je na bodě 214 (2,4 mm). V ostatních případech jsou ovšem odchylky podstatně nižší.

Problém nastává u výškových úchylek. **Úchylka výškové úrovně** od zvolené vztahné hodnoty překročila normu [11] na bodech 101, 102, 103, 107, 108, 109 a 201. Norma [9] byla v tomto parametru překročena navíc ještě na bodech 110 a 202. Maximální překročení dovolených úchylek nastalo na bodě 108, kde je úchylka od zvolené úrovně rovna hodnotě 40,3 mm, což znamená překročení dovolených hodnot normy [9] o 28,3 mm a normy [11] o 25,3 mm. Mezní hodnota **rozdílu výškových úrovní v příčném směru** překračuje normu [9] v profilech č. 3, 7, 8, 9, 10, benevolentní kritéria normy [11] překračuje pouze profil č. 8. Maximální úchylka je v profilu č. 8 a to 43,9 mm, což znamená překročení dovolených hodnot o 31,9 mm [9], resp. 7,1 mm [11].

Shoda spojnice čel nárazek s rovinou kolmou k podélné ose JD nesplňuje kritéria normy [11] na obou koncích dráhy (překročení o 0,8 mm, resp. 17,8 mm), kritéria normy [9] jsou porušena pouze v profilu N14 o 13,8 mm.

Z výše uvedeného vyplývá, že za normálních okolností by dráha byla doporučena k rektifikaci. Dokumentace z předchozího měření geometrických parametrů dráhy z let 1968 a 1975 ovšem také uvádí značně překročené hodnoty mezních úchylek podle tehdejších předpisů (ČSN 27 2430). Po konzultaci s expertem na jeřábové dráhy společnosti Královopolská, a.s. Ing. Susíkem je nutno konstatovat, že hala je postavena na nestabilním bažinatém podloží a **rektifikace**

dráhy by neměla valný význam. Je zde nutno počítat se zvýšenými úchytkami geometrických parametrů dráhy a z toho vyplývající zvýšenou deformací kolejnic i pojezdových kol jeřábu.

Měřický elaborát předepsaný metodickým návodem [1], tedy technická zpráva a grafické znázornění výsledků měření, je součástí příloh (E.3. a E.4.). K jeho vyhotovení byla využita varianta B směrového průběhu dráhy, model vyrovnání Novák – Šrom. Všechny hodnoty byly zaokrouhleny na celé milimetry.

9. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout postupy měření geometrických parametrů konkrétních jeřábových drah výhodné zejména z hlediska přesnosti, náročnosti a bezpečnosti práce.

Na jeřábové dráze ve **spalovně** byla využita prostorová polární metoda. Měřeno bylo postupně ze čtyř stanovisek v různé konfiguraci vzhledem k určovaným bodům. Příčné rozchody a směrové úchyly byly selektovány v závislosti na střední chybě určení. Směrový průběh a rozchody byly vypočítány ve dvou variantách, varianta A využívá selektované rozchody a příčné úchyly s výpočtem v samostatných souřadných systémech na každém stanovisku. Do varianty B vstupují geometrické parametry vypočítané z transformovaných souřadnic. Výškový průběh byl určen aritmetickým průměrem všech zjištěných hodnot výšky podrobného bodu.

Odhad aposteriorní střední chyby jednoho měření vypočítaný z měřických dvojic dosáhl hodnoty $0,9\text{ mm}$ (maximální střední chyba měření rozchodu určeného aritmetickým průměrem dvou měření vypočítaná rozbořem přesnosti je $1,6\text{ mm}$) u rozchodů, $0,6\text{ mm}$ (oproti 2 mm) u příčných úchylek a $0,5\text{ mm}$ (oproti 2 mm) u výšek. **Metoda měření plně vyhovuje požadavkům zadání.** Měřená jeřábová dráha vyhovuje kritériím platných norem.

Druhá měřená jeřábová dráha se nacházela v **mostárně Královopolské strojírny**. Měřeno bylo jednak polární metodou ze dvou stanovisek (varianta A směrového průběhu), jednak metodou záměrné přímky v kombinaci s technickou nivelací (varianta B směrového průměru). Rozchody pro tuto druhou variantu byly převzaty z výsledků polární metody, měření pásmem nebylo využito z důvodu bezpečnosti práce.

Odhad aposteriorní střední chyby jednoho měření vypočítaný z měřických dvojic dosáhl hodnoty $1,1\text{ mm}$ (maximální střední chyba měření rozchodu určeného aritmetickým průměrem dvou měření vypočítaná rozbořem přesnosti je $1,8\text{ mm}$) u rozchodů, $0,6\text{ mm}$ u příčných úchylek určených jak polárně, tak metodou záměrné přímky (oproti 2 mm), $0,7\text{ mm}$ u výšek určených trigonometricky, resp. $0,6\text{ mm}$ u výšek určených nivelací (oproti 2 mm). **Zvolené metody zcela vyhovují formulovaným požadavkům.** Jeřábová dráha nesplňuje kritéria norem z důvodu

nestabilního podloží haly, je proto nutné zde počítat se zvýšenými deformacemi kolejnic a pojezdových kol jeřábového mostu.

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] 984 311 MN/78. *Metodický návod pro určování prostorových vztahů jeřábových drah*. Praha: Český úřad geodetický a kartografický, 1978.

[2] BUBÁK, Ivan. Některé novinky při měření jeřábových drah. *Geodetický a kartografický obzor*. 1984, roč. 30, č. 10, s. 255-259.

[3] Crane (machine): History. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2012-02-17]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Crane_\(machine\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Crane_(machine))

[4] ČADA, Václav; LECHNER, Jiří. Současný stav přístrojové techniky pro měření geometrických parametrů jeřábových drah. *Geodetický a kartografický obzor*. 1988, č. 11, s. 280-285.

[5] ČSN 73 0212. *Grometrická přesnost ve výstavbě: Kontrola přesnosti - Část 1: Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 1996.

[6] ČSN 73 2601. *Provádění ocelových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 1989.

[7] ČSN 73 2604. *Ocelové konstrukce: Kontrola a údržba ocelových konstrukcí pozemních a inženýrských staveb*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

[8] ČSN 73 2611. *Úchyly rozměrů a tvarů ocelových konstrukcí*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1981.

[9] ČSN 73 5130. *Jeřábové dráhy*. 2. vydání. Praha: Český normalizační institut, 1994.

[10] ČSN EN 1090-1. *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí: Část 1: Požadavky na posouzení shody konstrukčních dílců*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

[11] ČSN EN 1090-2. *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí: Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

[12] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. 2. vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

[13] ČSN EN 1991-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení*. 2. vydání. Praha: Český normalizační institut, 2011.

[14] ČSN ISO 17123-2. *Optika a optické přístroje - Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů: Část 2: Nivelační přístroje*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

[15] ČSN ISO 1803. *Pozemní stavby - Tolerance: Vyjadřování přesnosti rozměrů - Zásady a názvosloví*. Praha: Český normalizační institut, 2012.

[16] ČSN ISO 4306-1 (27 0000). *Jeřáby - Slovník - Část 1: Všeobecně*. 2. vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 112 s.

[17] ČSN ISO 8322-8. *Geometrická přesnost ve výstavbě - Určování přesnosti měřících přístrojů: Část 8: Elektronické dálkoměry do 150 m*. Praha: Český normalizační institut, 1994.

[18] ČSN ISO 8322-10. *Pozemní stavby - Měřicí přístroje - Určování přesnosti během používání: Část 10: Rozdíl mezi odraznými terči a hranoly pro měření vzdáleností 150 m*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

[19] DRTINA, Ctibor. Speciální geodetické práce v těžkém průmyslu. *Geodetický a kartografický obzor*. 1964, č. 12, s. 3.

[20] DZIKÁ, Lucie. *Určení prostorových vztahů jeřábové dráhy*. Brno, 2001. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Alexej Vitula.

[21] Energetiké stavby: Spalovny. *Tenza: Aktivita: Energetika* [online]. 2013 [cit. 2013-03-04]. Dostupné z: <http://www.tenza.cz/cz/aktivita/energetika/energeticke-stavby/spalovny/>

[22] *Geolocation* [online]. 2013 [cit. 2013-03-03]. Dostupné z: <http://www.geolocation.ws/v/P/70556291/brno-krlovo-pole-leteck-pohled-brno-17-4/en>

[23] Geometrická nivelace: Výpočet a vyrovnaní výšek, odhad charakteristik přesnosti. *Geomatika na ZČU v Plzni* [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html-old/ch11s06.html>

[24] GTS 310: Specifications. *Topcon Optical (H.K.) Limited* [online]. 2005 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: http://www.topcon.com.hk/310_spec.htm

[25] HAMPACHER, Miroslav; ŠTRONER, Martin. *Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 313 s. ISBN 978-80-01-04900-6.

[26] HÁNEK, Pavel; BURŠÍKOVÁ, Olga. Měření jeřábových drah totálními stanicemi. *Geodetický a kartografický obzor*. 1993, roč. 39, č. 1, s. 8-11.

[27] HÁNEK, Pavel; JIRÁSKOVÁ, Jitka. Znovu o měření jeřábových drah totálními stanicemi. *Geodetický a kartografický obzor*. 2000, roč. 46, č. 2, s. 21-25.

[28] HÁŠA, Pavel. Konečné řešení náhrady ČSN 73 2601 – provádění kontrol konstrukcí jeřábových drah po zavedení ČSN EN 1090-2. In: *Sborník asociace konference zdvihacích zařízení k 20. výročí*. s. 13. Dostupné z: <http://www.excon.cz/cs/tiskovy-servis/?c=rok-2011>

[29] HERDA, Miroslav. Určování geometrických vztahů a rektifikačních hodnot jeřábové dráhy. *Geodetický a kartografický obzor*. 1972, roč. 18, č. 9, s. 223-226.

[30] HOREMUŽ, Milan. *Integrated navigation*. Stockholm: KTH, 2006, 101 s.

[31] HRDÁ, Veronika. V Brně začala fungovat nejmodernější spalovna v Česku. *Moravské hospodářství* [online]. 2010 [cit. 2013-03-04]. Dostupné z: <http://www.moravskeshospodarstvi.cz/clanky/energetika/v-brne-zacala-fungovat-nejmodernejsi-spalovna-v-cesku/>

[32] JANELE, Jaroslav. Kraniometr. *Geodetický a kartografický obzor*. 1967, roč. 13, č. 12, 328 - 329.

[33] JANELE, Jaroslav. Rektifikace jeřábových drah: Projekt a vytyčení osy jeřábové dráhy v průmyslové hale. *Geodetický a kartografický obzor*. 1964, roč. 10, č. 5, s. 119-123.

[34] KRUMPHANZL, Václav; MICHALČÁK, Ondrej. *Inženýrská geodézie II*. 1. vydání. Praha : Kartografie, n.p., 1975. 720 s.

[35] KŘEMEN, Tomáš; KOSKA, Bronislav; POSPÍŠIL, Jiří; KYRINOVIČ, Peter; HALIČKOVÁ, Jana; KOPÁČIK, Alojz. Checking of crane rails by terrestrial laser scanning technology. In: *Proceeding of Measuring the Changes - 13th FIG Symposium on Deformation Measurements and Analysis and 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering*. Lisabon: LNEC, 2008, s. 1-10.

[36] KYRINOVIČ, Peter. *Automatizované meranie geometrických parametrov žeriavových dráh*. Bratislava, 2010. ISBN 978-80-227-3563-6. Disertační práce. Slovenská technická univerzita v Bratislave. Vedoucí práce Alojz Kopáčík.

[37] KYRINOVÍČ, Peter; KOPÁČIK, Alojz. Automatizované meranie žeriavových dráh. In: *Aktuální problémy inženýrské geodézie 2010*. Brno: Český svaz geodetů a kartografů, 2010, s. 73-83.

[38] LECHNER, Jiří. Měření geometrických parametrů jeřábových drah při použití měřicího vozíku s dálkovým ovládáním. *Geodetický a kartografický obzor*. 1986, roč. 32, č. 5, s. 117-122.

[39] LUKÁČ, Štefan; KOPÁČIK, Alojz. Analytické určovanie smerových parametrov žeriavových dráh. *Geodetický a kartografický obzor*. 1986, roč. 32, č. 6, s. 143-148.

[40] MICHALČÁK, Ondrej, et al. *Inžinierska geodézia : Vybrané inžiniersko-geodetické úlohy*. 1. vydání. Bratislava : STU, 1991. 124 s. ISBN 80-227-0396-6.

[41] NEVOSÁD, Zdeněk; SOUKUP, František; VITÁSEK, Josef. *Geodézie II*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 1999, 107 s. ISBN 80-214-1475-8.

[42] Nivelační přístroj Zeiss NI 020A. *GP s r.o.: Geodetické přístroje a pomůcky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://gpprague.cz/eshop/nivelacni-pristroj-zeiss-ni-020a-p-418.html>

[43] NOVÁK, Zdeněk; PROCHÁZKA, Jaromír. *Inženýrská geodézie 10*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006.

[44] NOVÁK, Zdeněk; ŠROM, Jaromír. Početní vyrovnání deformací jeřábové dráhy. *Geodetický a kartografický obzor*. 1963, roč. 9, č. 3, s. 65-67.

[45] O společnosti: Představení firmy. *Královopolská, a.s.* [online]. 2013 [cit. 2013-03-03]. Dostupné z: <http://www.kralovopolska.cz/o-spolecnosti/predstaveni-firmy>

[46] Parní stroj: Historie parního stroje. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2012-0617]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Parní_stroj

[47] PAVLOV, I.M. a ČERNÍKOV, V.F.. Zkušenosti s použitím plynového laseru pro automatickou kontrolu jeřábových drah. *Geodetický a kartografický obzor*. 1971, roč. 17, č. 11, s. 272-275.

[48] Projekt XYZTrans. *Stavební fakulta ČVUT: Katedra speciální geodézie* [online]. 2013 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/XYZTrans/index.html>

- [49] REMTA, František; KUPKA, Ladislav; DRAŽAN, František. *Jeřáby I. díl. 2.* vydání. Praha: SNTL, 1974. 648 s.
- [50] SKOPAL, Vlastimil; ADÁMEK, Jindřich; HOFÍREK, Mojmír. *Stavba a provoz strojů IV: Konstrukční uspořádání, provoz a údržba.* 1. vyd. Praha: SNTL, 1982, 424 s.
- [51] *Směrnice na proměřování jeřábových drah geodetickými metodami.* Praha: Ústřední správa geodézie a kartografie, 1964.
- [52] Spalovna: Historie. *SAKO Brno, a.s.* [online]. 2013 [cit. 2013-03-04]. Dostupné z: <http://www.sako.cz/spalovna/historie/>
- [53] STANĚK, Václav. Sledování sedání objektů s jeřábovou dráhou. *Geodetický a kartografický obzor.* 1968, roč. 14, č. 12, s. 330-331.
- [54] *Stavebné stroje III.* 1. vyd. Bratislava: Práca, 1952, 637 s.
- [55] Středicí nůžky s důlčíkem. *GP Praha* [online]. 2007 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://www.gpprague.cz/katalog.php?id=1142>
- [56] ŠTRONER, Martin; POSPÍŠIL, Jiří. *Terestrické skenovací systémy.* Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008, 185 s. ISBN 978-80-01-04141-3.
- [57] ŠVÁBENSKÝ, Otakar; VITULA, Alexej; BUREŠ, Jiří. *Inženýrská Geodézie I: Návod ke cvičením.* Brno: VUT Brno, 2006.
- [58] ŠVÁBENSKÝ, Otakar; VITULA, Alexej; BUREŠ, Jiří. *Inženýrská geodézie I: Základy inženýrské geodézie.* Brno: VUT v Brně, 2006.
- [59] Topcon EDM instrument parameters. In: *Department of Environment and Primary Industries* [online]. 2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://www.dse.vic.gov.au/_data/assets/excel_doc/0005/153716/Topcon-Instrument-Parameters.xls
- [60] Topcon GTS-300 series owners manual.
- [61] Torr. *Wikipedia: The free encyclopedia* [online]. 2013 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Torr>
- [62] VOREL, Vladimír; BRYCHTA, Milan; HÁNEK, Pavel; PROCHÁZKA, Jaromír. *Inženýrská geodézie: Návod ke cvičením.* Dotisk. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993, 152 s. ISBN 80-010-0313-2.

11. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1. Mostový jeřáb	17
Obr. 2.2. Portálový jeřáb	17
Obr. 2.3. Poloportálový jeřáb	17
Obr. 2.4. Lanový jeřáb	18
Obr. 2.5. Portálový lanový jeřáb	18
Obr. 2.6. Portálový otočný jeřáb	18
Obr. 2.7. Poloportálový otočný jeřáb	18
Obr. 2.8. Věžový jeřáb	19
Obr. 2.9. Železniční jeřáb	19
Obr. 2.10. Ukotvený derikový jeřáb	19
Obr. 2.11. Derikový jeřáb s tuhým vyztužením	19
Obr. 2.12. Sloupový konzol. jeřáb výložníkový	20
Obr. 2.13. Nástěnný konzolový jeřáb	20
Obr. 2.14. Bicyklový konzolový jeřáb	20
Obr. 2.15. Palubní jeřáb	20
Obr. 3.1. Kraniometr	27
Obr. 3.2. Rozmístění stanovisek při měření totální stanicí ze země	30
Obr. 3.3. Úchytná lať na hranol pro měření ze země	30
Obr. 3.4. Část mračna bodů jedné z kolejnic s vymodelovanou vnitřní hranou	33
Obr. 3.5. Rozmístění indukčních snímačů a hranolů	34
Obr. 3.6. Tvar a umístění NKMS	35
Obr. 3.7. Dispozice modelu Novák – Šrom	38
Obr. 3.8. Dispozice modelu Lukáč-Kopáček	40
Obr. 4.1. Vztah mezi tolerancí a mezními rozměry a odchylkami	45
Obr. 4.2. Posun svislé osy stojiny kolejnice vůči svislé ose nosníku	48
Obr. 5.1. Totální stanice TOPCON GTS-300	49
Obr. 5.2. Průmyslový hranol Nikon	49
Obr. 5.3. Narážka s nalepovacím štítkem Sokkia	49
Obr. 5.4. Pomůcka k držení hranolu	49

Obr. 5.5. Pomůcka pro čtení polohy bodu pro metodu záměrné přímky	50
Obr. 5.6. Pomůcka pro čtení polohy bodu pro metodu záměrné přímky	50
Obr. 5.7. Zeiss NI 020A	51
Obr. 5.8. Teleskopická nivelační lať	51
Obr. 5.9. Středicí nůžky s důlčíkem	51
Obr. 5.10. Upínací deska	51
Obr. 5.11. Schéma označení veličin při výpočtu přesnosti vytyčení úsečky	53
Obr. 6.1. Určení PSM	61
Obr. 6.2. Schéma měření cyklické chyby	65
Obr. 6.3. Zkouška nivelačního přístroje	69
Obr. 7.1. Spalovna	71
Obr. 7.2. Jeřábová dráha – škvárovna	71
Obr. 7.3. Schematické znázornění JD ve škvárovně	72
Obr. 7.4. Rozmístění bodů na JD ve spalovně a orientace os	73
Obr. 8.1. Královopolská strojírna	88
Obr. 8.2. Jeřábová dráha – mostárna	88
Obr. 8.3. Schématické znázornění JD v mostárně	88
Obr. 8.4. Rozmístění bodů na JD v mostárně a orientace os	90

12. SEZNAM TABULEK A GRAFŮ

Tab. 4.1. Doporučená matice pro stanovení tříd provedení	43
Tab. 4.2. Srovnání aktuálně platných tolerancí pro měření JD	46
Tab. 5.1. Parametry přístroje Topcon GTS-300	49
Tab. 5.2. Přesnost měření rozchodu	54
Tab. 5.3. Přesnost měření příčných úchylek jednoho měření MZP	56
Tab. 5.4. Přesnost měření příčných úchylek	56
Tab. 5.5. Přesnost měření geometrických parametrů JD jednotlivými metodami	58
Tab. 6.1. Násobná část opravy měřených délek vypočtená přístrojem	60
Tab. 6.2. Určené PSM a jejich střední chyby	62
Tab. 6.3. Určené rozdílové konstanty odrazného terče	63
Tab. 6.4. Zjištěné korekce vlivu sklonu záměrné přímký nivelačního přístroje	70
Tab. 7.1. Spalovna - mezní úchyly rozchodů a mezní příčné úchyly	79
Tab. 7.2. Spalovna – varianta A – rozchody a příčné úchyly kolejnic	80
Tab. 7.3. Spalovna – varianta B – rozchody a příčné úchyly kolejnic	82
Tab. 7.4. Spalovna - mezní úchyly výškové úrovně od projektované hodnoty a mezní rozdíly výškových úrovní v příčném směru	84
Tab. 7.5. Spalovna – výškový průběh jeřábové dráhy a rozdíly výškových úrovní v příčném směru	84
Tab. 7.6. Spalovna – mezní úchyly a tolerance odchylek spojnic čel narážek od roviny kolmé k ose JD	86
Tab. 7.7. Spalovna – odchylky spojnic čel narážek od roviny kolmé k ose JD	87
Tab. 8.1. Mostárna - mezní úchyly rozchodů a mezní příčné úchyly	96
Tab. 8.2. Mostárna - varianta A - rozchody a příčné úchyly kolejnic	97
Tab. 8.3. Mostárna - varianta B - rozchody a příčné úchyly kolejnic	100
Tab. 8.4. Mostárna - mezní úchyly výškové úrovně od projektované hodnoty a mezní rozdíly výškových úrovní v příčném směru	102
Tab. 8.5. – Mostárna – výškový průběh jeřábové dráhy a rozdíly výškových úrovní v příčném směru	102

Tab. 8.6. Mostárna – odchylky spojnic čel nárazek od roviny kolmé k ose JD a jejich mezní úchyly a tolerance	104
Tab. A.1. Zjištěné hodnoty cyklické chyby	I
Tab. B.1. Parametry elips chyb při měření ze stanoviska 9001	III
Tab. B.2. Parametry elips chyb při měření ze stanoviska 9002	IV
Tab. B.3. Parametry elips chyb při měření ze stanoviska 9003	V
Tab. B.4. Parametry elips chyb při měření ze stanoviska 9004	VI
Tab. B.5.. Porovnání rozdílů naměřených rozchodů s mezními rozdíly	VII
Tab. B.6. Průměrné rozchody a jejich střední chyby (varianta A)	VII
Tab. B.7. Průměrné rozchody a jejich střední chyby (varianta B)	VIII
Tab. B.8. Porovnání rozdílů příčných úchylek naměřených polární metodou s mezními rozdíly	VIII
Tab. B.9. Průměrné hodnoty příčných úchylek	IX
Tab. B.10. Zjištěné hodnoty výškových úrovní	X
Tab. B.11. Průměrné hodnoty výškových úrovní a porovnání rozdílů nejodlehlejších hodnot s mezními rozdíly	X
Tab. B.12. Úchyly zjištěných rozchodů od zvolené vztažné hodnoty – varianta A	XI
Tab. B.13. Úchyly zjištěných rozchodů od zvolené vztažné hodnoty – varianta B	XI
Tab. B.14. Úchyly zjištěných výškových úrovní od zvolené vztažné hodnoty	XII
Tab. C.1. Parametry elips chyb při měření ze stanoviska 4001	XIII
Tab C.2. Parametry elips chyb při měření ze stanoviska 4002	XIV
Tab. C.3. Porovnání rozdílů naměřených rozchodů s mezními rozdíly	XV
Tab. C.4. Porovnání rozdílů příčných úchylek naměřených polární metodou s mezními rozdíly	XVI
Tab. C.5. Porovnání rozdílů příčných úchylek koleje A naměřených MZP s mezními rozdíly	XVII
Tab. C.6. Porovnání rozdílů příčných úchylek koleje B naměřených MZP s mezními rozdíly	XVII

Tab. C.7. Porovnání rozdílů trigonometricky určených výšek s mezními rozdíly	XVIII
Tab. C.8. Porovnání rozdílů výšek určených nivelací s mezními rozdíly	XIX
Tab. C.9. Porovnání rozdílů výšek určených oběma metodami s mezními rozdíly	XX
Tab. C.10. Úchyly zjištěných rozchodů od zvolené vztažné hodnoty – varianta A	XXI
Tab. C.11. Úchyly zjištěných rozchodů od zvolené vztažné hodnoty – varianta B	XXI
Tab. C.12. Úchyly zjištěných výškových úrovní od zvolené vztažné hodnoty	XXII
Graf 6.1. Závislost cyklické chyby na měřené délce při měření v 1. etapě	66
Graf 6.2. Závislost cyklické chyby na měřené délce při měření ve 2. etapě	66
Graf 6.3. Závislost cyklické chyby na měřené délce – celkový pohled	67
Graf 6.4. Upravené hodnoty cyklické chyby a aproximační funkce (hranol)	68
Graf 7.1. Spalovna – varianta A – porovnání příčných úchylek na koleji A s mezními příčnými úchyly	80
Graf 7.2. Spalovna – varianta A – porovnání příčných úchylek na koleji B s mezními příčnými úchyly	81
Graf 7.3. Spalovna – varianta A – porovnání rozchodů s mezními úchyly od projektované hodnoty	83
Graf 7.4. Spalovna – varianta B – porovnání příčných úchylek na koleji A s mezními příčnými úchyly	82
Graf 7.5. Spalovna – varianta B – porovnání příčných úchylek na koleji B s mezními příčnými úchyly	83
Graf 7.6. Spalovna – varianta B – porovnání rozchodů s mezními úchyly od projektované hodnoty	83
Graf 7.7. Spalovna – porovnání výškových poměrů jeřábové dráhy s mezními úchyly – kolej A	85

Graf 7.8. Spalovna – porovnání výškových poměrů jeřábové dráhy s mezními úchylkami – kolej B	85
Graf 7.9. Spalovna – porovnání rozdílů výškových úrovní v příčném směru s mezními úchylkami	86
Graf 8.1. Mostárna – varianta A – porovnání příčných úchylek na koleji A s mezními příčnými úchylkami	97
Graf 8.2. Mostárna – varianta A – porovnání příčných úchylek na koleji B s mezními příčnými úchylkami	98
Graf 8.3. Mostárna – varianta A – porovnání rozchodů s mezními úchylkami od projektované hodnoty	98
Graf 8.4. Mostárna – varianta B – porovnání příčných úchylek na koleji A s mezními příčnými úchylkami	100
Graf 8.5. Mostárna – varianta B – porovnání příčných úchylek na koleji B s mezními příčnými úchylkami	101
Graf 8.6. Mostárna – varianta B – porovnání rozchodů s mezními úchylkami od projektované hodnoty	101
Graf 8.7. Mostárna – porovnání výškových poměrů jeřábové dráhy s mezními úchylkami – kolej A	103
Graf 8.8. Mostárna – porovnání výškových poměrů jeřábové dráhy s mezními úchylkami – kolej B	103
Graf 8.9. Mostárna – porovnání rozdílů výškových úrovní v příčném směru s mezními úchylkami	104

A. PŘÍLOHY K VÝPOČTU CYKlickÉ CHYBY

X_i staničení

c_H^I cyklická chyba měřená na hranol v první etapě

c_O^I cyklická chyba měřená na odrazný štítek v první etapě

c_H^{II} cyklická chyba měřená na hranol ve druhé etapě

c_O^{II} cyklická chyba měřená na odrazný štítek ve druhé etapě

c_{red} cyklická chyba po odečtení vzestupného trendu

c_{aprox} cyklická chyba vypočítaná aproximační funkcí

ZJIŠTĚNÉ HODNOTY CYKlickÉ CHYBY [m]						
X_i	c_H^I	c_O^I	c_H^{II}	c_O^{II}	c_{red}	c_{aprox}
1,0000	0,0012				0,0015	0,0006
2,0000	0,0004				0,0007	-0,0002
3,0000	-0,0007				-0,0005	-0,0008
4,0000	-0,0001				0,0001	-0,0002
5,0000	0,0000	0,0017			0,0002	0,0006
6,0000	-0,0005	0,0018			-0,0003	0,0006
7,0000	-0,0004	0,0008			-0,0003	-0,0002
8,0000	-0,0016	-0,0011			-0,0015	-0,0008
9,0000	-0,0002	0,0004			0,0000	-0,0002
10,0000	-0,0001	0,0004			0,0001	0,0006
11,0000	0,0003	0,0003			0,0004	0,0006
12,0000	-0,0001	0,0000			0,0000	-0,0002
13,0000	-0,0014	-0,0012			-0,0014	-0,0008
14,0000	0,0003	0,0001			0,0003	-0,0002
15,0000	0,0002	-0,0003			0,0002	0,0006
15,5014			-0,0009	-0,0015	-0,0005	0,0008
16,0000	-0,0002	-0,0004			-0,0002	0,0006
16,5021			-0,0004	-0,0012	0,0000	0,0002
17,0000	0,0001	-0,0003			0,0001	-0,0002
17,5014			-0,0007	-0,0010	-0,0003	-0,0006
18,0000	-0,0007	-0,0012			-0,0007	-0,0008
18,5015			-0,0012	-0,0014	-0,0008	-0,0006
19,0000	0,0011	0,0005			0,0010	-0,0002
19,5028			0,0001	-0,0006	0,0004	0,0002
20,0000	0,0001	-0,0005			0,0000	0,0006
20,5019			-0,0003	-0,0012	-0,0001	0,0008

21,0000	0,0005	-0,0002			0,0004	0,0006
21,5027			0,0005	-0,0009	0,0008	0,0002
22,0000	0,0003	-0,0003			0,0002	-0,0002
22,5015			-0,0006	-0,0013	-0,0004	-0,0006
23,0000	-0,0011	-0,0015			-0,0012	-0,0008
23,5017			-0,0005	-0,0008	-0,0003	-0,0006
24,0000	0,0005	-0,0001			0,0004	-0,0002
24,5027			0,0004	-0,0006	0,0006	0,0002
25,0000	0,0010	0,0005			0,0008	0,0006
25,5026			0,0003	-0,0016	0,0004	0,0008
26,0000	0,0010	0,0003			0,0008	0,0006
26,5031			0,0010	-0,0001	0,0011	0,0002
27,0000	0,0002	-0,0001			0,0000	-0,0002
27,5016			-0,0007	-0,0015	-0,0006	-0,0006
28,0000	-0,0009	-0,0008			-0,0011	-0,0008
28,5018			-0,0007	-0,0008	-0,0006	-0,0006
29,0000	0,0009	0,0007			0,0007	-0,0002
29,5025			0,0002	-0,0002	0,0002	0,0002
30,5025			0,0002	-0,0004	0,0001	0,0008
31,5030			0,0008	0,0002	0,0007	0,0002
32,5020			-0,0002	-0,0003	-0,0003	-0,0006
33,5018			-0,0002	0,0000	-0,0003	-0,0006
34,5025			0,0006	0,0013	0,0004	0,0002
35,5022			0,0001	0,0003	-0,0001	0,0008
36,5031			0,0008	0,0016	0,0007	0,0002
37,5021			-0,0002	0,0006	-0,0005	-0,0006
38,5022			-0,0001	0,0011	-0,0004	-0,0006
39,5037			0,0013	0,0032	0,0010	0,0003
40,5026			0,0002	0,0010	-0,0002	0,0008
41,5037			0,0012	0,0021	0,0008	0,0002
42,5021			-0,0004	0,0013	-0,0008	-0,0006
43,5020			-0,0004	0,0012	-0,0008	-0,0006
44,5027			0,0001	0,0016	-0,0004	0,0002

Tab. A.1. Zjištěné hodnoty cyklické chyby

B. PŘÍLOHY K VÝPOČTU JEŘÁBOVÉ DRÁHY VE SPALOVNĚ

B.1. Parametry elips chyb

PARAMETRY ELIPS CHYB PŘI MĚŘENÍ ZE STANOVISKA 9001														
Č.B.	s [m]	ω [°]	α [°]	α [rad]	m_x^2 [mm ²]	m_y^2 [mm ²]	m_{xy} [mm ²]	ϕ_o [°]	ϕ [°]	m_{max}^2 [mm ²]	m_{min}^2 [mm ²]	m_{max} [mm]	m_{min} [mm]	
00	13,5940	258,7471	199,9931	3,1415	4,1095	0,0041	-0,0004	399,9862	199,9931	4,1095	0,0041	2,0272	0,0641	
01	8,6909	258,7417	199,9877	3,1414	4,0698	0,0017	-0,0008	399,9754	199,9877	4,0698	0,0017	2,0174	0,0410	
02	3,3275	58,7136	399,9596	6,2826	4,0267	0,0002	-0,0026	399,9192	199,9596	4,0267	0,0002	2,0067	0,0157	
03	15,3309	58,7623	0,0083	0,0001	4,1236	0,0052	0,0005	0,0166	0,0083	4,1236	0,0052	2,0307	0,0722	
04	27,3283	58,7572	0,0032	0,0001	4,2216	0,0166	0,0002	0,0064	0,0032	4,2216	0,0166	2,0547	0,1288	
05	39,3289	58,7540	0,0000	0,0000	4,3208	0,0343	0,0000	0,0000	0,0000	4,3208	0,0343	2,0787	0,1853	
10	21,4074	314,8411	256,0871	4,0226	1,6960	2,4873	2,0435	112,1742	56,0871	4,1731	0,0102	2,0428	0,1009	
11	18,6608	327,8997	269,1457	4,2277	0,9070	3,2514	1,7079	138,2914	69,1457	4,1507	0,0077	2,0373	0,0879	
12	16,8481	371,3636	312,6096	4,9105	0,1662	3,9760	-0,7967	225,2192	112,6096	4,1359	0,0063	2,0337	0,0794	
13	22,5339	6,3686	347,6146	5,4603	1,9406	2,2529	-2,0797	295,2292	147,6146	4,1823	0,0113	2,0451	0,1062	
14	31,9253	24,1398	365,3858	5,7395	3,1256	1,1565	-1,8757	330,7716	165,3858	4,2595	0,0226	2,0639	0,1504	
15	42,6522	33,4408	374,6868	5,8856	3,7025	0,6864	-1,5381	349,3736	174,6868	4,3485	0,0404	2,0853	0,2010	
N00	13,5850	260,0140	201,2600	3,1614	4,1078	0,0057	0,0812	2,5200	1,2600	4,1094	0,0041	2,0272	0,0640	
N10	20,9343	313,8114	255,0574	4,0064	1,7604	2,4185	2,0536	110,1148	55,0574	4,1692	0,0097	2,0419	0,0987	

Tab. B.1. Parametry elips chyb při měření ze stanoviště 9001

PARAMETRY ELIPS CHYB PŘI MĚŘENÍ ZE STANOVISKA 9002													
Č.B.	s [m]	ω [°]	α [°]	α [rad]	$m^2_x [mm^2]$	$m^2_y [mm^2]$	$m_{xy} [mm^2]$	ϕ_o [°]	ϕ [°]	$m^2_{max} [mm^2]$	$m^2_{min} [mm^2]$	$m_{max} [mm]$	$m_{min} [mm]$
00	57,8094	240,0912	381,5710	5,9937	4,1172	0,4329	-1,2042	363,1420	181,5710	4,4758	0,0742	2,1156	0,2724
01	53,1285	238,4099	379,8897	5,9673	4,0142	0,4848	-1,2915	359,7794	179,8897	4,4363	0,0627	2,1063	0,2504
02	41,9021	232,7445	374,2243	5,8783	3,6745	0,7067	-1,5580	348,4486	174,2243	4,3422	0,0390	2,0838	0,1975
03	31,2328	223,0554	364,5352	5,7261	3,0707	1,2047	-1,8992	329,0704	164,5352	4,2538	0,0217	2,0625	0,1472
04	21,9865	204,3951	345,8749	5,4330	1,8250	2,3635	-2,0661	291,7498	145,8749	4,1778	0,0107	2,0440	0,1036
05	16,7127	168,0836	309,5634	4,8626	0,0987	4,0423	-0,6109	219,1268	109,5634	4,1348	0,0062	2,0334	0,0788
10	55,4346	258,5233	0,0031	0,0000	4,4558	0,0682	0,0002	0,0062	0,0031	4,4558	0,0682	2,1109	0,2612
11	50,5080	258,5202	0,0000	0,0000	4,4143	0,0567	0,0000	0,0000	0,0000	4,4143	0,0567	2,1010	0,2380
12	38,5100	258,5226	0,0024	0,0000	4,3140	0,0329	0,0002	0,0048	0,0024	4,3140	0,0329	2,0770	0,1815
13	26,5072	258,5282	0,0080	0,0001	4,2149	0,0156	0,0005	0,0160	0,0080	4,2149	0,0156	2,0530	0,1249
14	14,5142	258,5195	399,9993	6,2832	4,1170	0,0047	0,0000	399,9986	199,9993	4,1170	0,0047	2,0290	0,0684
15	2,5124	258,5328	0,0126	0,0002	4,0201	0,0001	0,0008	0,0252	0,0126	4,0201	0,0001	2,0050	0,0118
N00	57,7181	240,3609	381,8407	5,9979	4,1266	0,4225	-1,1884	363,6814	181,8407	4,4751	0,0740	2,1154	0,2720
N10	55,3898	257,8663	399,3461	6,2729	4,4549	0,0686	-0,0451	398,6922	199,3461	4,4554	0,0681	2,1108	0,2610

Tab. B.2. Parametry elips chyb při měření ze stanoviska 9002

PARAMETRY ELIPS CHYB PŘI MĚŘENÍ ZE STANOVISKA 9003													
Č.B.	s [m]	ω [°]	α [°]	α [rad]	m_x^2 [mm ²]	m_y^2 [mm ²]	m_{xy} [mm ²]	ϕ_0 [°]	ϕ [°]	m_{max}^2 [mm ²]	m_{min}^2 [mm ²]	m_{max} [mm]	m_{min} [mm]
00	41,8890	229,9584	374,2124	5,8781	3,6738	0,7073	-1,5586	348,4248	174,2124	4,3421	0,0390	2,0838	0,1974
01	31,2203	220,2535	364,5075	5,7257	3,0690	1,2063	-1,9000	329,0150	164,5075	4,2537	0,0216	2,0624	0,1471
02	21,9771	201,5891	345,8431	5,4325	1,8229	2,3656	-2,0658	291,6862	145,8431	4,1777	0,0107	2,0440	0,1036
03	16,7121	165,2482	309,5022	4,8616	0,0975	4,0435	-0,6071	219,0044	109,5022	4,1348	0,0062	2,0334	0,0788
04	19,0729	122,4873	266,7413	4,1900	1,0404	3,1218	1,7928	133,4826	66,7413	4,1540	0,0081	2,0381	0,0899
05	22,5526	108,1027	252,3567	3,9640	1,9426	2,2511	2,0799	104,7134	52,3567	4,1825	0,0113	2,0451	0,1063
10	38,4957	255,7460	0,0000	0,0000	4,3139	0,0329	0,0000	0,0000	0,0000	4,3139	0,0329	2,0770	0,1814
11	26,4926	255,7522	0,0062	0,0001	4,2147	0,0156	0,0004	0,0124	0,0062	4,2147	0,0156	2,0530	0,1248
12	14,4996	255,7423	399,9963	6,2831	4,1168	0,0047	-0,0002	399,9926	199,9963	4,1168	0,0047	2,0290	0,0683
13	2,4983	255,7383	399,9923	6,2831	4,0200	0,0001	-0,0005	399,9846	199,9923	4,0200	0,0001	2,0050	0,0118
14	9,5301	55,7444	199,9984	3,1416	4,0766	0,0020	-0,0001	399,9968	199,9984	4,0766	0,0020	2,0191	0,0449
15	15,3756	55,7857	200,0397	3,1422	4,1239	0,0053	0,0026	0,0794	0,0397	4,1240	0,0052	2,0308	0,0725
N00	22,6539	107,7367	251,9907	3,9583	1,9670	2,2277	2,0819	103,9814	51,9907	4,1833	0,0114	2,0453	0,1068
N10	15,5213	55,8716	200,1256	3,1436	4,1251	0,0054	0,0081	0,2512	0,1256	4,1251	0,0053	2,0310	0,0731

Tab. B.3. Parametry elips chyb při měření ze stanoviska 9003

PARAMETRY ELIPS CHYB PŘI MĚŘENÍ ZE STANOVISKA 9004													
Č.B.	s [m]	ω [°]	α [°]	α [rad]	$m^2_x [mm^2]$	$m^2_y [mm^2]$	$m_{xy} [mm^2]$	ϕ_o [°]	ϕ [°]	$m^2_{max} [mm^2]$	$m^2_{min} [mm^2]$	$m_{max} [mm]$	$m_{min} [mm]$
00	43,7067	57,2645	0,0000	0,0000	4,3573	0,0424	0,0000	0,0000	0,0000	4,3573	0,0424	2,0874	0,2060
01	31,7025	57,2578	399,9933	6,2831	4,2576	0,0223	-0,0004	399,9866	199,9933	4,2576	0,0223	2,0634	0,1494
02	19,7054	57,2609	399,9964	6,2831	4,1592	0,0086	-0,0002	399,9928	199,9964	4,1592	0,0086	2,0394	0,0929
03	7,7040	57,2661	0,0016	0,0000	4,0619	0,0013	0,0001	0,0032	0,0016	4,0619	0,0013	2,0154	0,0363
04	4,3197	257,2839	200,0194	3,1419	4,0346	0,0004	0,0012	0,0388	0,0194	4,0346	0,0004	2,0086	0,0204
05	10,1456	257,2656	200,0011	3,1416	4,0816	0,0023	0,0001	0,0022	0,0011	4,0816	0,0023	2,0203	0,0478
10	46,7206	80,2558	22,9913	0,3611	3,8414	0,5896	1,4326	45,9826	22,9913	4,3825	0,0485	2,0934	0,2202
11	35,7447	87,8398	30,5753	0,4803	3,3811	0,9383	1,7467	61,1506	30,5753	4,2911	0,0284	2,0715	0,1684
12	25,7137	101,6767	44,4122	0,6976	2,4777	1,7453	2,0646	88,8244	44,4122	4,2084	0,0147	2,0514	0,1212
13	18,2290	129,5063	72,2418	1,1348	0,7458	3,4087	1,5848	144,4836	72,2418	4,1472	0,0074	2,0365	0,0859
14	17,0799	173,4987	116,2342	1,8258	0,2694	3,8749	-1,0084	232,4684	116,2342	4,1378	0,0065	2,0342	0,0805
15	19,3929	192,3653	135,1008	2,1222	1,1467	3,0183	-1,8511	270,2016	135,1008	4,1566	0,0084	2,0388	0,0914
N00	10,3131	257,2295	199,9650	3,1410	4,0829	0,0024	-0,0022	399,9300	199,9650	4,0829	0,0024	2,0206	0,0486
N10	19,4455	192,8320	135,5675	2,1295	1,1741	2,9914	-1,8647	271,1350	135,5675	4,1571	0,0084	2,0389	0,0916

Tab. B.4. Parametry elips chyb při měření ze stanoviska 9004

B.2. Přehled měřených veličin a jejich středních chyb, porovnání rozdílů vícekrát měřených veličin s mezními hodnotami

Tučně zvýrazněné hodnoty byly využity do dalšího zpracování.

MĚŘENÉ ROZCHODY										
Č.P.	9001		9002		9003		9004		d_{r_i} [mm]	$\delta_{d_{r_i}}$ [mm]
	r_i^I [m]	$m_{r_i}^I$ [mm]	r_i^{II} [m]	$m_{r_i}^{II}$ [mm]	r_i^{III} [m]	$m_{r_i}^{III}$ [mm]	r_i^{IV} [m]	$m_{r_i}^{IV}$ [mm]		
0	16,5025	1,5	16,5006	0,7					1,9	3,4
1	16,5001	1,8	16,5006	0,7					0,5	3,8
2	16,5013	2,0	16,5011	0,8	16,5017	0,8	16,5031	0,8	2,0	2,3
3	16,5107	1,5	16,5079	1,1	16,5121	1,5	16,5107	0,9	4,2	3,7
4	16,5091	1,1	16,5091	1,5	16,5087	1,5	16,5090	1,3	0,4	4,3
5	16,5102	0,8	16,5094	2,0	16,5104	2,0	16,5097	1,8	1,0	5,6
6					16,5156	1,7	16,5140	1,9	1,6	5,2
7					16,5059	1,5	16,5058	1,7	0,1	4,5

Tab. B.5. Porovnání rozdílů naměřených rozchodů s mezními rozdíly

Pozn.: Hodnota r_{r_i} uvádí vždy rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou.

Průměrné hodnoty rozchodů, vypočítané z tučně označených hodnot, a jejich střední chyby uvádí tab. B.6.

PRŮMĚRNÉ ROZCHODY		
Č.P.	\bar{r}_i [m]	$m_{\bar{r}_i}$ [mm]
0	16,5006	0,7
1	16,5006	0,7
2	16,5020	0,5
3	16,5093	0,7
4	16,5091	0,8
5	16,5102	0,8
6	16,5148	1,3
7	16,5059	1,1

Tab. B.6. Průměrné rozchody a jejich střední chyby (varianta A)

PRŮMĚRNÉ ROZCHODY		
Č.P.	\bar{r}_l [m]	$m_{\bar{r}_l}$ [mm]
0	16,5016	0,8
1	16,5004	1,0
2	16,5018	0,6
3	16,5104	0,6
4	16,5090	0,7
5	16,5100	0,9
6	16,5148	1,3
7	16,5058	1,1

Tab. B.7. Průměrné rozchody a jejich střední chyby (varianta B)

Pozn.: Tab. B.7. uvádí rozchody vypočítané z transformovaných souřadnic.

PŘÍČNÉ ÚCHYLKY URČENÉ POLÁRNÍ METODOU						
Č.B.	p_i^I [mm]	$m_{p_i}^I$ [mm]	p_i^{II} [mm]	$m_{p_i}^{II}$ [mm]	d_{p_i} [mm]	$\delta_{d_{p_i}}$ [mm]
00	-3,6	0,1	-1,6	0,7	2,0	1,3
01	-3,5	0,0	-3,0	0,7	0,5	1,4
02	1,0	0,0	1,0	0,2	0,0	0,4
03	-2,4	0,1	-2,4	0,1	0,0	0,3
04	-1,1	0,1	-0,2	0,1	0,9	0,3
05	1,0	0,2	1,0	0,0	0,0	0,4
06	-0,7	1,8	-0,6	0,0	0,1	3,5
07	0,7	1,5	0,5	0,0	0,2	3,0
10	-6,0	0,3	-6,1	1,6	0,1	3,2
11	-7,4	0,2	-8,4	1,8	1,0	3,6
12	-2,9	0,2	-2,3	0,2	0,6	0,5
13	2,0	0,1	3,3	0,1	1,3	0,4
14	1,7	0,1	2,9	0,1	1,2	0,2
15	5,4	0,0	6,4	0,0	1,0	0,0
16	8,4	2,0	9,9	0,0	1,5	3,9
17	1,3	1,7	1,6	0,1	0,3	3,5

Tab. B.8. Porovnání rozdílů příčných úchylek naměřených polární metodou s mezními rozdíly

PRŮMĚRNÉ HODNOTY PŘÍČNÝCH ÚCHYLEK [mm]		
Č.B.	\bar{p}_i [m]	$m_{\bar{p}_i}$ [mm]
00	-3,6	0,1
01	-3,5	0,0
02	1,0	0,1
03	-2,4	0,1
04	-0,7	0,1
05	1,0	0,1
06	-0,6	0,0
07	0,5	0,0
10	-6,0	0,3
11	-7,4	0,2
12	-2,6	0,1
13	2,7	0,1
14	2,3	0,0
15	5,9	0,0
16	9,9	0,0
17	1,6	0,1

Tab. B.9. Průměrné hodnoty příčných úchylek

Pozn.: Tab. B.9. uvádí příčné úchyly vypočítané aritmetickým průměrem tučně zvýrazněných hodnot v tabulce B.8. (pokud jsou dvě), eventuálně přejímá tučnou hodnotu (pokud je pouze jedna pro daný bod).

VÝŠKY URČENÉ TRIGONOMETRICKY [mm]								
Č.B.	9001		9002		9003		9004	
	v_i^I	$m_{v_i}^I$	v_i^{II}	$m_{v_i}^{II}$	v_i^{III}	$m_{v_i}^{III}$	v_i^{IV}	$m_{v_i}^{IV}$
00	-10,8	0,1	-10,9	0,4				
01	-6,3	0,1	-5,3	0,4				
02	-13,4	0,1	-13,3	0,3	-13,9	0,3	-13,4	0,3
03	-13,7	0,1	-13,2	0,2	-13,6	0,2	-13,1	0,2
04	-7,0	0,2	-7,5	0,1	-7,2	0,1	-6,6	0,1
05	-5,1	0,3	-5,5	0,1	-4,8	0,1	-4,3	0,1
06					-7,7	0,1	-6,8	0,1
07					-4,8	0,2	-3,7	0,1
10	-19,0	0,1	-20,3	0,4				
11	-13,7	0,1	-14,9	0,3				
12	-11,6	0,1	-12,1	0,3	-12,1	0,3	-11,4	0,3
13	-7,2	0,2	-7,8	0,2	-8,2	0,2	-7,2	0,2
14	-7,2	0,2	-6,6	0,1	-7,1	0,1	-6,2	0,2
15	-3,6	0,3	-3,9	0,1	-3,8	0,1	-3,6	0,1
16					0,0	0,1	0,0	0,1
17					-3,6	0,1	-2,9	0,1

Tab. B.10. Zjištěné hodnoty výškových úrovní

VÝŠKY – PRŮMĚRY A ODCHYLKY [mm]				
Č.B.	\bar{v}_i	$m_{\bar{v}_i}$	d_{v_i}	$\delta_{d_{v_i}}$
00	-10,9	0,2	-0,1	0,8
01	-5,8	0,2	1,0	0,7
02	-13,5	0,1	-0,6	0,8
03	-13,4	0,1	-0,6	0,5
04	-7,1	0,1	0,9	0,4
05	-4,9	0,1	1,2	0,3
06	-7,3	0,1	-0,9	0,3
07	-4,3	0,1	-1,1	0,3
10	-19,7	0,2	-1,3	0,8
11	-14,3	0,2	-1,2	0,7
12	-11,8	0,1	0,7	0,8
13	-7,6	0,1	1,0	0,6
14	-6,8	0,1	1,0	0,5
15	-3,7	0,1	0,3	0,4
16	0,0	0,1	0,0	0,3
17	-3,3	0,1	0,7	0,3

Tab. B.11. Průměrné hodnoty výškových úrovní a porovnání rozdílů nejdlejších hodnot s mezními rozdíly

B.3. Úchylky rozchodů a výškových úrovní od vztažných hodnot

PROJEKTOVANÝ ROZCHOD [m]		16,5000
ZVOLENÁ HODNOTA ROZCHODU [m]		16,5050
MEZNÍ ÚCHYLKA ČSN 73 5130 [mm]		± 5,6
MEZNÍ ÚCHYLKA ČSN EN 1090-2 [mm]		± 10,2
PROFIL	MĚŘENÝ ROZCHOD [m]	ÚCHYLKA [mm]
0	16,5013	3,7
1	16,5006	4,4
2	16,5017	3,3
3	16,5103	-5,3
4	16,5086	-3,6
5	16,5099	-4,9
6	16,5150	-10,0
7	16,5059	-0,9

Tab. B.12. Úchylky zjištěných rozchodů od zvolené vztažné hodnoty – varianta A

PROJEKTOVANÝ ROZCHOD [m]		16,5000
ZVOLENÁ HODNOTA ROZCHODU [m]		16,5050
MEZNÍ ÚCHYLKA ČSN 73 5130 [mm]		± 5,6
MEZNÍ ÚCHYLKA ČSN EN 1090-2 [mm]		± 10,2
PROFIL	MĚŘENÝ ROZCHOD [m]	ÚCHYLKA [mm]
0	16,5016	3,4
1	16,5004	4,6
2	16,5018	3,2
3	16,5104	-5,3
4	16,5090	-3,9
5	16,5100	-5,0
6	16,5148	-9,8
7	16,5058	-0,8

Tab. B.13. Úchylky zjištěných rozchodů od zvolené vztažné hodnoty – varianta B

ZVOLENÁ HODNOTA VZTAŽNÉ VÝŠKY [mm]				-10,0
MEZNÍ ÚCHYLKA ČSN 73 5130 [mm]				±12,0
MEZNÍ ÚCHYLKA ČSN EN 1090-2 [mm]				±15,0
Č.P.	v^P [mm]	ÚCHYLKA[mm]	v^L [mm]	ÚCHYLKA[mm]
0	-10,9	0,9	-19,7	9,7
1	-5,8	-4,2	-14,3	4,3
2	-13,5	3,5	-11,8	1,8
3	-13,4	3,4	-7,6	-2,4
4	-7,1	-2,9	-6,8	-3,2
5	-4,9	-5,1	-3,7	-6,3
6	-7,3	-2,8	0,0	-10,0
7	-4,3	-5,8	-3,3	-6,8

Tab. B.14. Úchylky zjištěných výškových úrovní od zvolené vztažné hodnoty

C. PŘÍLOHY K VÝPOČTU JEŘÁBOVÉ DRÁHY V MOSTÁRNĚ

C.1. Parametry elips chyb

PARAMETRY ELIPS CHYB PŘI MĚŘENÍ ZE STANOVISKA 4001													
Č. B.	s [m]	ω [°]	α [°]	α [rad]	m_x^2 [mm ²]	m_y^2 [mm ²]	m_{xy} [mm ²]	ϕ_0 [°]	ϕ [°]	m_{max}^2 [mm ²]	m_{min}^2 [mm ²]	m_{max} [mm]	m_{min} [mm]
101	86,2958	392,6306	13,6877	0,215005	4,5128	0,3727	0,9494	27,3753	13,6877	4,7202	0,1654	2,1726	0,4067
N101	86,5118	392,6119	13,6690	0,214711	4,5152	0,3730	0,9484	27,3379	13,6690	4,7220	0,1662	2,1730	0,4077
102	81,4464	393,4547	14,5117	0,227949	4,4467	0,3787	0,9974	29,0234	14,5117	4,6781	0,1473	2,1629	0,3838
103	78,9742	393,9175	14,9746	0,235220	4,4113	0,3839	1,0240	29,9491	14,9746	4,6567	0,1385	2,1579	0,3722
104	69,2748	396,0561	17,1131	0,268812	4,2583	0,4216	1,1437	34,2262	17,1131	4,5734	0,1066	2,1385	0,3264
4002	66,5468	396,7765	17,8335	0,280128	4,2098	0,4386	1,1828	35,6670	17,8335	4,5501	0,0983	2,1331	0,3136
105	59,6663	398,9036	19,9606	0,313540	4,0718	0,4988	1,2946	39,9212	19,9606	4,4916	0,0791	2,1193	0,2812
106	50,2614	2,8034	23,8605	0,374799	3,8284	0,6399	1,4840	47,7209	23,8605	4,4122	0,0561	2,1005	0,2369
107	41,0852	8,4921	29,5492	0,464157	3,4741	0,8988	1,7205	59,0983	29,5492	4,3354	0,0375	2,0822	0,1936
108	32,4551	17,3052	38,3623	0,602593	2,9016	1,3856	1,9801	76,7245	38,3623	4,2639	0,0234	2,0649	0,1529
109	24,8750	31,9384	52,9955	0,832451	1,9109	2,3044	2,0846	105,9909	52,9955	4,2015	0,0137	2,0498	0,1172
110	19,6012	56,5346	77,5916	1,218806	0,5018	3,6651	1,3430	155,1832	77,5916	4,1583	0,0085	2,0392	0,0924
111	18,6852	90,0721	111,1292	1,745613	0,1331	4,0255	-0,7096	222,2583	111,1292	4,1509	0,0078	2,0374	0,0881
211	3,2294	178,8611	199,9182	3,140307	4,0259	0,0002	-0,0052	399,8363	199,9182	4,0259	0,0002	2,0065	0,0152
210	6,7982	378,9733	0,0303	0,000476	4,0546	0,0010	0,0019	0,0606	0,0303	4,0546	0,0010	2,0136	0,0320
209	16,7709	378,9558	0,0128	0,000201	4,1353	0,0062	0,0008	0,0256	0,0128	4,1353	0,0062	2,0335	0,0790
208	26,7857	378,9381	399,9952	6,283109	4,2172	0,0159	-0,0003	399,9903	199,9952	4,2172	0,0159	2,0536	0,1262
207	36,7952	378,9353	399,9923	6,283064	4,2998	0,0301	-0,0005	399,9846	199,9923	4,2998	0,0301	2,0736	0,1734
206	46,7818	378,9382	399,9952	6,283110	4,3830	0,0486	-0,0003	399,9904	199,9952	4,3830	0,0486	2,0936	0,2205
205	56,7686	378,9464	0,0035	0,000054	4,4670	0,0716	0,0002	0,0069	0,0035	4,4670	0,0716	2,1135	0,2675
204	66,8076	378,9430	0,0000	0,000000	4,5523	0,0991	0,0000	0,0000	0,0000	4,5523	0,0991	2,1336	0,3148
203	76,7509	378,9538	0,0108	0,000170	4,6376	0,1308	0,0008	0,0216	0,0108	4,6376	0,1308	2,1535	0,3617
202	79,3363	378,9552	0,0122	0,000192	4,6599	0,1398	0,0009	0,0245	0,0122	4,6599	0,1398	2,1587	0,3739
201	84,3311	378,9559	0,0129	0,000203	4,7031	0,1579	0,0009	0,0258	0,0129	4,7031	0,1579	2,1687	0,3974
N201	84,5463	378,9469	0,0039	0,000061	4,7050	0,1587	0,0003	0,0078	0,0039	4,7050	0,1587	2,1691	0,3984

Tab. C.1. Parametry elips chyb při měření ze stanoviska 4001

PARAMETRY ELIPS CHYB PŘI MĚŘENÍ ZE STANOVISKA 4002													
104	2,8334	371,1949	199,9920	3,141467	4,0227	0,0002	-0,0005	399,9840	199,9920	4,0227	0,0002	2,0057	0,0134
105	7,1949	171,1714	399,9685	6,282691	4,0578	0,0012	-0,0020	399,9370	199,9685	4,0578	0,0011	2,0144	0,0339
106	17,1796	171,1995	399,9966	6,283131	4,1386	0,0066	-0,0002	399,9931	199,9966	4,1386	0,0066	2,0344	0,0810
107	27,2140	171,2217	0,0188	0,000295	4,2207	0,0164	0,0012	0,0375	0,0188	4,2207	0,0164	2,0544	0,1282
108	37,2144	171,2133	0,0104	0,000163	4,3033	0,0308	0,0007	0,0207	0,0104	4,3033	0,0308	2,0744	0,1754
109	47,2104	171,2068	0,0039	0,000061	4,3866	0,0495	0,0003	0,0078	0,0039	4,3866	0,0495	2,0944	0,2225
110	57,1944	171,2051	0,0021	0,000034	4,4706	0,0726	0,0001	0,0043	0,0021	4,4706	0,0726	2,1144	0,2695
111	67,2027	171,2029	0,0000	0,000000	4,5557	0,1003	0,0000	0,0000	0,0000	4,5557	0,1003	2,1344	0,3167
112	77,1781	171,1990	399,9961	6,283124	4,6413	0,1323	-0,0003	399,9922	199,9961	4,6413	0,1323	2,1544	0,3637
113	79,7034	171,2007	399,9978	6,283151	4,6630	0,1411	-0,0002	399,9956	199,9978	4,6630	0,1411	2,1594	0,3756
114	84,7123	171,1978	399,9949	6,283104	4,7064	0,1594	-0,0004	399,9897	199,9949	4,7064	0,1594	2,1694	0,3992
N114	84,9368	171,1891	399,9862	6,282969	4,7084	0,1602	-0,0010	399,9724	199,9862	4,7084	0,1602	2,1699	0,4003
N214	86,8714	184,7948	13,5919	0,213500	4,5206	0,3722	0,9437	27,1837	13,5919	4,7252	0,1676	2,1737	0,4094
204	18,6178	281,0052	109,8023	1,724770	0,1051	4,0529	-0,6278	219,6046	109,8023	4,1503	0,0077	2,0372	0,0877
205	19,7481	247,5009	76,2980	1,198485	0,5579	3,6103	1,4065	152,5959	76,2980	4,1595	0,0087	2,0395	0,0931
206	25,1681	223,4055	52,2026	0,819996	1,9641	2,2538	2,0899	104,4051	52,2026	4,2039	0,0141	2,0503	0,1186
207	32,8061	209,1189	37,9160	0,595582	2,9315	1,3592	1,9704	75,8319	37,9160	4,2668	0,0239	2,0656	0,1546
208	41,4733	200,4730	29,2701	0,459773	3,4919	0,8850	1,7101	58,5401	29,2701	4,3387	0,0382	2,0829	0,1954
209	50,6399	194,8744	23,6715	0,371830	3,8401	0,6323	1,4753	47,3429	23,6715	4,4154	0,0569	2,1013	0,2386
210	60,0406	191,0304	19,8275	0,311449	4,0802	0,4946	1,2877	39,6549	19,8275	4,4947	0,0801	2,1201	0,2829
4001	66,5467	189,0396	17,8367	0,280177	4,2097	0,4388	1,1830	35,6733	17,8367	4,5501	0,0983	2,1331	0,3136
211	69,6539	188,2212	17,0183	0,267323	4,2648	0,4196	1,1385	34,0366	17,0183	4,5766	0,1077	2,1393	0,3282
212	79,3277	186,0974	14,8945	0,233961	4,4169	0,3827	1,0193	29,7889	14,8945	4,6598	0,1397	2,1587	0,3738
213	81,7469	185,6475	14,4446	0,226894	4,4514	0,3777	0,9934	28,8891	14,4446	4,6807	0,1484	2,1635	0,3852
214	86,6500	184,8188	13,6159	0,213877	4,5180	0,3720	0,9451	27,2317	13,6159	4,7232	0,1667	2,1733	0,4083

Tab C.2. Parametry elips chyb při měření ze stanoviska 4002

**C.2. Přehled měřených veličin a jejich středních chyb, porovnání rozdílů
vícekrát měřených veličin s mezními hodnotami**

Tučně zvýrazněné hodnoty byly využity do dalšího zpracování.

ROZCHODY								
ČÍSLO PROFILU	4001		4002		PRŮMĚR		ROZDÍL	
	r_i^I [m]	$m_{r_i}^I$ [mm]	r_i^{II} [m]	$m_{r_i}^{II}$ [mm]	\bar{r}_i [m]	$m_{\bar{r}_i}$ [mm]	d_{r_i} [mm]	$\delta_{d_{r_i}}$ [mm]
1	18,3943	0,7						
2	18,3901	0,7						
3	18,3924	0,7						
4	18,3984	0,7	18,3970	2,0			-1,4	4,2
5	18,3998	0,7	18,3987	1,9			-1,1	4,0
6	18,4034	0,8	18,4023	1,5			-1,1	3,3
7	18,3970	0,9	18,3959	1,1	18,3965	0,7	-1,1	2,9
8	18,3969	1,1	18,3974	0,9	18,3972	0,7	0,5	2,9
9	18,3936	1,5	18,3957	0,8			2,1	3,4
10	18,3961	1,9	18,3968	0,7			0,7	4,0
11	18,3961	2,0	18,3991	0,7			3,0	4,2
12			18,3955	0,7				
13			18,3920	0,7				
14			18,3984	0,7				

Tab. C.3. Porovnání rozdílů naměřených rozchodů s mezními rozdíly

PŘÍČNÉ ÚCHYLKY URČENÉ POLÁRNÍ METODOU						
ČÍSLO BODU	4001		4002		ROZDÍL	
	p_i^I [mm]	$m_{p_i}^I$ [mm]	p_i^{II} [mm]	$m_{p_i}^{II}$ [mm]	d_{p_i} [mm]	$\delta_{d_{p_i}}$ [mm]
101	9,1	0,6				
102	3,1	0,6				
103	3,2	0,6				
104	-3,6	0,6	-4,6	0,0	1,0	1,3
105	1,0	0,7	0,2	0,0	0,8	1,4
106	-1,8	0,8	-1,8	0,1	0,0	1,6
107	-9,0	0,9	-10,0	0,1	1,0	1,9
108	-6,6	1,2	-7,3	0,2	0,7	2,4
109	-4,2	1,5	-3,4	0,2	0,8	3,1
110	-1,8	1,9	-1,8	0,3	0,0	3,9
111	-0,6	2,0	0,9	0,3	1,5	4,1
112			6,3	0,4		
113			4,6	0,4		
114			9,0	0,4		
201	11,8	0,4				
202	10,0	0,4				
203	7,9	0,4				
204	-5,0	0,3	-4,6	2,0	0,4	4,1
205	-1,8	0,3	-1,5	1,9	0,3	3,8
206	-8,2	0,2	-7,1	1,5	1,1	3,0
207	-9,1	0,2	-8,9	1,2	0,2	2,4
208	-6,5	0,1	-7,8	0,9	1,3	1,9
209	-0,9	0,1	-2,1	0,8	1,2	1,6
210	-0,9	0,0	-1,6	0,7	0,7	1,4
211	0,2	0,0	-1,1	0,6	1,3	1,3
212			7,8	0,6		
213			9,6	0,6		
214			7,6	0,6		

Tab. C.4. Porovnání rozdílů příčných úchylek naměřených polární metodou s mezními rozdíly

PŘÍČNÉ ÚCHYLKY URČENÉ MZP – KOLEJ A [mm]							
Č.B.	p_i^I	p_i^{II}	$m_{p_i}^{I,II}$	\bar{p}_i	$m_{\bar{p}_i}$	d_{p_i}	$\delta_{d_{p_i}}$
101	12,4		0,3				
102	6,3		0,2				
103	6,1		0,2				
104	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
105	4,9	4,9	0,1	4,9	0,1	0,0	0,3
106	0,7	1,7	0,2	1,2	0,2	1,0	0,7
107	-6,4	-6,4	0,4	-6,4	0,3	0,0	1,1
108	-5,6	-5,6	0,5	-5,6	0,4	0,0	1,5
109	-1,7	-3,7	0,7	-2,7	0,5	2,0	1,9
110	-1,9	-0,9	0,8	-1,4	0,6	1,0	2,2
111	0,0	0,0	0,9	0,0	0,7	0,0	2,6
112		3,9	1,1				
113		3,7	1,1				
114		7,6	1,2				

Tab. C.5. Porovnání rozdílů příčných úchylek koleje A naměřených MZP s mezními rozdíly

PŘÍČNÉ ÚCHYLKY URČENÉ MZP – KOLEJ B [mm]								
Č.B.	4001		4003		PRŮMĚR		ROZDÍL	
	p_i^I	$m_{p_i}^I$	p_i^{II}	$m_{p_i}^{II}$	\bar{p}_i	$m_{\bar{p}_i}$	d_{p_i}	$\delta_{d_{p_i}}$
201	16,3	1,2						
202	15,0	1,1						
203	13,4	1,1						
204	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,9
205	1,6	0,8	1,4	0,1	1,5	0,4	0,2	1,6
206	-4,9	0,7	-5,1	0,2	-5,0	0,3	0,2	1,4
207	-7,3	0,5	-6,7	0,4	-7,0	0,3	0,6	1,3
208	-4,7	0,4	-3,4	0,5	-4,1	0,3	1,3	1,3
209	-0,1	0,2	1,1	0,7	0,5	0,3	1,2	1,4
210	-0,6	0,1	-0,4	0,8	-0,5	0,4	0,2	1,6
211	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,5	0,0	1,9
212			6,4	1,1				
213			10,9	1,1				
214			9,3	1,2				

Tab. C.6. Porovnání rozdílů příčných úchylek koleje B naměřených MZP s mezními rozdíly

VÝŠKY URČENÉ TRIGONOMETRICKY [mm]								
Č.B.	4001		4002		PRŮMĚR		ROZDÍL	
	v_i^I	$m_{v_i}^I$	v_i^{II}	$m_{v_i}^{II}$	\bar{v}_l	$m_{\bar{v}_l}$	d_{v_i}	$\delta_{d_{v_i}}$
101	0,0	0,4						
102	-7,8	0,4						
103	-7,7	0,4						
104	-20,8	0,3	-20,5	0,0	-20,7	0,2	0,3	0,9
105	-24,4	0,3	-24,5	0,0	-24,5	0,1	0,1	0,8
106	-32,3	0,2	-33,4	0,1	-32,9	0,1	1,1	0,7
107	-56,6	0,2	-57,2	0,1	-56,9	0,1	0,6	0,7
108	-70,2	0,2	-71,1	0,2	-70,7	0,1	0,9	0,7
109	-56,8	0,1	-58,2	0,2	-57,5	0,1	1,4	0,7
110	-42,7	0,1	-43,9	0,3	-43,3	0,1	1,2	0,8
111	-40,7	0,1	-41,6	0,3	-41,2	0,2	0,9	0,9
112			-35,5	0,4				
113			-41,1	0,4				
114			-32,7	0,4				
201	-8,2	0,4						
202	-17,9	0,4						
203	-21,3	0,4						
204	-26,9	0,3	-24,7	0,1	-25,8	0,2	2,2	0,9
205	-22,4	0,3	-21,4	0,1	-21,9	0,1	1,0	0,8
206	-23,6	0,2	-22,9	0,1	-23,3	0,1	0,7	0,7
207	-21,2	0,2	-21,1	0,2	-21,2	0,1	0,1	0,7
208	-27,1	0,1	-26,6	0,2	-26,9	0,1	0,5	0,7
209	-33,2	0,1	-33,8	0,2	-33,5	0,1	0,6	0,7
210	-27,8	0,0	-29,1	0,3	-28,5	0,1	1,3	0,8
211	-36,3	0,0	-36,2	0,3	-36,3	0,2	0,1	0,9
212			-37,4	0,4	-37,4			
213			-39,8	0,4	-39,8			
214			-38,5	0,4	-38,5			

Tab. C.7. Porovnání rozdílů trigonometricky určených výšek s mezními rozdíly

VÝŠKY URČENÉ NIVELACÍ [mm]								
Č.B.	4001		4002		PRŮMĚR		ROZDÍL	
	v_i^I	$m_{v_i}^I$	v_i^{II}	$m_{v_i}^{II}$	\bar{v}_l	$m_{\bar{v}_l}$	d_{v_i}	$\delta_{d_{v_i}}$
101	0,0	1,4						
102	-7,6	1,4						
103	-8,9	1,4						
104	-21,2	1,4	-21,6	1,4	-21,4	1,0	0,4	4,0
105	-25,4	1,4	-25,0	1,4	-25,2	1,0	0,4	4,0
106	-32,6	1,4	-33,7	1,4	-33,2	1,0	1,1	4,0
107	-57,8	1,4	-57,5	1,4	-57,6	1,0	0,3	4,0
108	-70,9	1,4	-71,2	1,4	-71,0	1,0	0,3	4,0
109	-58,9	1,4	-57,9	1,4	-58,4	1,0	1,0	4,0
110	-44,5	1,4	-43,6	1,4	-44,1	1,0	0,9	4,0
111	-41,7	1,4	-41,3	1,4	-41,5	1,0	0,3	4,0
112			-35,1	1,4				
113			-40,7	1,4				
114			-33,1	1,4				
201	-9,2	1,4						
202	-17,9	1,4						
203	-22,2	1,4						
204	-25,5	1,4	-24,6	1,4	-25,0	1,0	0,9	4,0
205	-22,8	1,4	-21,4	1,4	-22,1	1,0	1,4	4,0
206	-23,1	1,4	-22,7	1,4	-22,9	1,0	0,3	4,0
207	-22,3	1,4	-21,7	1,4	-22,0	1,0	0,6	4,0
208	-27,6	1,4	-26,6	1,4	-27,1	1,0	1,0	4,0
209	-33,9	1,4	-32,5	1,4	-33,2	1,0	1,4	4,0
210	-28,2	1,4	-29,3	1,4	-28,7	1,0	1,1	4,0
211	-37,6	1,4	-37,0	1,4	-37,3	1,0	0,6	4,0
212			-36,8	1,4				
213			-39,5	1,4				
214			-37,8	1,4				

Tab. C.8. Porovnání rozdílů výšek určených nivelací s mezními rozdíly

VÝŠKY URČENÉ PRŮMĚREM METOD [mm]								
Č.B.	TRIGONOMETRIE		NIVELACE		PRŮMĚR		ROZDÍL	
	v_i^T	$m_{v_i}^T$	v_i^N	$m_{v_i}^N$	\bar{v}_i	$m_{\bar{v}_i}$	d_{v_i}	$\delta_{d_{v_i}}$
101	0,0	0,4	0,0	1,4	0,0	0,7	0,0	4,3
102	-7,8	0,4	-7,6	1,4	-7,7	0,7	0,2	4,2
103	-7,7	0,4	-8,9	1,4	-8,3	0,7	1,2	4,2
104	-20,7	0,2	-21,4	1,0	-21,0	0,5	0,7	2,0
105	-24,5	0,1	-25,2	1,0	-24,8	0,5	0,8	2,0
106	-32,9	0,1	-33,2	1,0	-33,0	0,5	0,3	2,0
107	-56,9	0,1	-57,6	1,0	-57,3	0,5	0,7	2,0
108	-70,7	0,1	-71,0	1,0	-70,8	0,5	0,4	2,0
109	-57,5	0,1	-58,4	1,0	-57,9	0,5	0,9	2,0
110	-43,3	0,1	-44,1	1,0	-43,7	0,5	0,8	2,0
111	-41,2	0,2	-41,5	1,0	-41,3	0,5	0,3	2,0
112	-35,5	0,4	-35,1	1,4	-35,3	0,7	0,4	4,2
113	-41,1	0,4	-40,7	1,4	-40,9	0,7	0,4	4,2
114	-32,7	0,4	-33,1	1,4	-32,9	0,7	0,4	4,2
201	-8,2	0,4	-9,2	1,4	-8,7	0,7	1,0	4,2
202	-17,9	0,4	-17,9	1,4	-17,9	0,7	0,0	4,2
203	-21,3	0,4	-22,2	1,4	-21,8	0,7	0,9	4,2
204	-25,8	0,2	-25,0	1,0	-25,4	0,5	0,8	2,0
205	-21,9	0,1	-22,1	1,0	-22,0	0,5	0,2	2,0
206	-23,3	0,1	-22,9	1,0	-23,1	0,5	0,4	2,0
207	-21,2	0,1	-22,0	1,0	-21,6	0,5	0,9	2,0
208	-26,9	0,1	-27,1	1,0	-27,0	0,5	0,3	2,0
209	-33,5	0,1	-33,2	1,0	-33,3	0,5	0,3	2,0
210	-28,5	0,1	-28,7	1,0	-28,6	0,5	0,3	2,0
211	-36,3	0,2	-37,3	1,0	-36,8	0,5	1,1	2,0
212	-37,4	0,4	-36,8	1,4	-37,1	0,7	0,6	4,2
213	-39,8	0,4	-39,5	1,4	-39,6	0,7	0,3	4,2
214	-38,5	0,4	-37,8	1,4	-38,2	0,7	0,7	4,3

Tab. C.9. Porovnání rozdílů výšek určených oběma metodami s mezními rozdíly

C.3. Úchylky rozchodů a výškových úrovní od vztažných hodnot

PROJEKTOVANÝ ROZCHOD [m]		18,4000
ZVOLENÁ HODNOTA ROZCHODU [m]		18,3970
MEZNÍ ÚCHYLKA ČSN 73 5130 [mm]		± 6,1
MEZNÍ ÚCHYLKA ČSN EN 1090-2 [mm]		± 10,8
PROFIL	MĚŘENÝ ROZCHOD [m]	ÚCHYLKA [mm]
1	18,3943	-2,7
2	18,3901	-6,9
3	18,3924	-4,6
4	18,3981	1,1
5	18,3995	2,5
6	18,4034	6,4
7	18,3963	-0,7
8	18,3968	-0,2
9	18,3953	-1,7
10	18,3966	-0,4
11	18,3986	1,6
12	18,3955	-1,5
13	18,3920	-5,0
14	18,3984	1,4

Tab. C.10. Úchylky zjištěných rozchodů od zvolené vztažné hodnoty – varianta A

PROJEKTOVANÝ ROZCHOD [m]		18,4000
ZVOLENÁ HODNOTA ROZCHODU [m]		18,3970
MEZNÍ ÚCHYLKA ČSN 73 5130 [mm]		± 6,1
MEZNÍ ÚCHYLKA ČSN EN 1090-2 [mm]		± 10,8
PROFIL	MĚŘENÝ ROZCHOD [m]	ÚCHYLKA [mm]
1	18,3943	-2,7
2	18,3899	-7,1
3	18,3919	-5,1
4	18,3984	1,4
5	18,4005	3,5
6	18,4039	6,9
7	18,3974	0,4
8	18,3972	0,2
9	18,3957	-1,3
10	18,3972	0,2
11	18,3991	2,1
12	18,3959	-1,1
13	18,3920	-5,0
14	18,3981	1,1

Tab. C.11. Úchylky zjištěných rozchodů od zvolené vztažné hodnoty – varianta B

ZVOLENÁ HODNOTA VZTAŽNÉ VÝŠKY [mm]				-30,5
MEZNÍ ÚCHYLKA ČSN 73 5130 [mm]				±12,0
MEZNÍ ÚCHYLKA ČSN EN 1090-2 [mm]				±15,0
Č.P.	v^P [mm]	ÚCHYLKA[mm]	v^L [mm]	ÚCHYLKA[mm]
1	0,0	-30,5	-8,7	-21,8
2	-7,7	-22,8	-17,9	-12,6
3	-8,3	-22,2	-21,8	-8,7
4	-21,0	-9,5	-25,4	-5,1
5	-24,8	-5,7	-22,0	-8,5
6	-33,0	2,5	-23,1	-7,4
7	-57,3	26,8	-21,6	-8,9
8	-70,8	40,3	-27,0	-3,5
9	-57,9	27,4	-33,3	2,8
10	-43,7	13,2	-28,6	-1,9
11	-41,3	10,8	-36,8	6,3
12	-35,3	4,8	-37,1	6,6
13	-40,9	10,4	-39,6	9,1
14	-32,9	2,4	-38,2	7,7

Tab. C.12. Úchylky zjištěných výškových úrovní od zvolené vztažné hodnoty

D. ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY

Některé přílohy byly přiloženy pouze v elektronické podobě a jsou k dispozici na DVD, které je nalepeno z vnitřní strany desek diplomové práce.

D.1. Spalovna

D.1.1. Zápisník z měření

D.1.2. Náskres situace

D.1.3. Protokoly z výpočtu polární metody

D.1.4. Protokoly z transformací

D.1.5. Měřický elaborát

D.1.5.1. Technická zpráva

D.1.5.2. Grafické znázornění

D.2. Mostárna

D.2.1. Zápisník z měření totální stanicí

D.2.2. Ruční zápisníky z měření

D.2.2.1. Dispozice haly

D.2.2.2. Náskres situace

D.2.2.3. Zápisník z měření technickou nivelací

D.2.2.4. Zápisník z měření metodou záměrné přímky

D.2.3. Protokol z výpočtu polární metody

D.2.4. Měřický elaborát

D.2.4.1. Technická zpráva

D.2.4.2. Grafické znázornění

E. VOLNĚ LOŽENÉ PŘÍLOHY

Měřický elaborát, tzn. technická zpráva a grafické znázornění měření, není dle mého názoru vhodné vázat jako součást diplomové práce. Měřické elaboráty obou měřených jeřábových drah jsou z toho důvodu volně loženy do diplomové práce. Konkrétně se tedy jedná o následující dokumenty.

E.1. Technická zpráva z měření ve spalovně

E.2. Grafické znázornění geometrických parametrů jeřábové dráhy ve spalovně

E.3. Technická zpráva z měření v mostárně

E.4. Grafické znázornění geometrických parametrů jeřábové dráhy v mostárně